ou des canaux inoccupés peuvent être loués à des associations communautaires ou commisions scolaires. Pour l'instant, les télédistributeurs se limitent, en grande majorité, à la distribution d'un nombre sans cesse croissant de programmes diffusés par des chaînes de télévision et et reportent à un avenir indéterminé * d'autres utilisations de leurs réseaux.

Le véritable progrès futur comme le prouvent certaines expériences de télédistribution (Normandin au Québec, le système TICCIT et Studio One è New York) réside dans le fait que le *câble* peut être à la source d'une nouvelle télévision. Cette télévision qui sera è la mesure des besoins locaux, diffusera des émissions d'informations locales, des programmes culturels et surtout réservera une place prioritaire à l'activité éducative. Derrière les systèmes expérimentaux du type TICCIT se profile le réseau de télédistribution du futur qui, équipé pour la transmission en retour de données, assurera l'accès de chaque citoyen aux méthodes interactives d'ducation. Le fait qu'aux Etats-Unis la FCC, (Federal Communication Commission) — l'équivalent du CRTC au Canada —, ait décrété que tous les nouveaux réseaux doivent avoir une capacité d'au moins 20 canaux dont un canal éducatif *, avec au moins une voie de retour pour des transmissions autres que vocales, représente un pas énorme vers l'utilisation du câble à des fins éducatives. L'éducation permanent des adultes (dont la nécessité est de plus en plus pressante) et l'éducation des enfants seront d'autant plus efficaces que les réseaux de télédistribution à voie de retour permettront aux usagers d'acroitre leurs connaissances au rytheme qui leur est propre en utilisant les techniques de l'enseignement programmé. La télévision pourrait devenir non seulement un outil d'information, de distraction et d'éducation mais aussi un moyen d'expression, d'échange de vues et de développement personnel.

9 — BIBLIOGRAPHIE

[1] **C. Pilnick, W. S. Baer** — *Cable Television: a guide to the technology.* Rand Report R-1141-NSF, 1973.

[2] **P. Carpenter** — *Uses in Education.* Rand Report R-1143-NSF, 1973.

[3] **S. K. Black** — *Cable Television for Europe.* Office of Telecommunications Report 74-28, février 1974.

[4] **C. T. I. C.** — *Technology of Cable Television.* Cable Television Information Center, 1973.

[5] **C. T. I. C.** — *The Uses of Cable Communications.* Cable Television Information Center, 1973.

[6] **N. C. T. A.** — *Cablecasting Guidebook.* National Cable Television Association.

[7] **K. I. P. Inc.** — *Proceedings of Video Publishing Year IV.* Knowledge Industry Publications, Inc. Septembre 1973.

[8] **G. E. T. C.** — *Le Télécâble et la Rétroaction du Citoyen avec le Gouvernement.* Groupe d'étude sur le Téléinformatique au Canada. Information Canada, Otava, 1973.

[9] **A. S. D. A.** — *Microwave Systems for CATV* — Etude préparée par ASDA Ltd. pour le Ministère de Communications, Mars 1973.

[10] **M. I. T. R. E.** — *Symposium on Urban Cable Television.* Voumes I, II, III, et IV, Mitre Corporation. 18, 19 et 20 octobre 1972.

[11] **S. L. O. A. N.** — *On the Cable; the Television of Abundance.* Sevan Commission on Cable Communications McGraw Hill Book Company, New York 1971.

[12] **R. L. Smith** — *The Wired Nation. Cable TV: The Electronic Communication Highway* Harper and Row, New York 1972.

[13] **C. R. T. C.** — *Cable Television in Canada.* Canadian Radio-Television Comission Ottawa, Janvier 1971.

[14] **W. S. Baer** — *Interactive Television: Prospects for Two-Way Services on Cables.* Rand Report R-888--MF, 1971.

[15] **P. Baran** — *30 Services that Two-Way Television Can Provide.* The Futurist, pp 202-210, octobre 1973.

[16] **R. Guindon S. MacPherson J. DaSilva** — *CATV: An Expanding Network for Tomorroy.* Ministry of Communications, Ottawa Septembre, 1973.

[17] **J. de Mercado** — *Video Networks.* International Computer/Telecommunications Conference, Lake Maggiore, Italy Octobre 1973.

Este trabalho encontra-se aberto para discussão até 31 de Janeiro de 1981.

* Bien qu'aux Etats-Unis il y ait eu une augmentation de 300% de 1973 à 1974 du nombre de programmes conçus localement, seulement 19 500 abonnés ont pu avoir accès à des programmes educatifs.

* Un deuxième canal éducatif doit être mis à la disposition des authorités scolaires, si l'utilisation du premier canal dépasse 80%.

A conversão directa de energia solar em energia eléctrica. Células Solares

LEOPOLDO J. M. GUIMARÃES
Prof. catedrático da U. N. L.
Investigador do I. N. I. C.

RESUMO

A escassez de recursos energéticos clássicos obriga a encontrar soluções que necessariamente incluem a energia solar nas suas múltiplas formas de aproveitamento. Um dos processos de aproveitar a energia solar consiste em convertê-la directamente em energia eléctrica através das chamadas células fotovoltaicas ou células solares para as quais se dirige o conteúdo deste artigo.

SUMMARY

Solar energy represents one possible solution to find altenative energy sources necessary to replace non-renewable energy supplies. There are several ways to make sunlight useful for energy applications. One way consists of converting it directly into electricity using photovoltaic devices. This is the main subject of this paper.

1 — INTRODUÇÃO

Todas as formas de resolução do problema *Energia* passam irremediavelmente pela tentativa de encontrar alternativas que permitam substituir as fontes de energia que classicamente nos têm servido (carvão, petróleo e gás natural) todas elas susceptíveis de se esgotarem num prazo muito curto. Há fundamentalmente duas opções possíveis num horizonte próximo: a energia nuclear e a energia solar nas suas diversas formas de aproveitamento.

A quantidade de energia solar susceptível de ser aproveitada é imensa. À entrada da atmosfera terrestre a densidade de energia solar é de cerca de 1,35 KW/m^2, com uma distribuição espectral parecida com a de um corpo negro à temperatura de 6000° K (fig. 1).

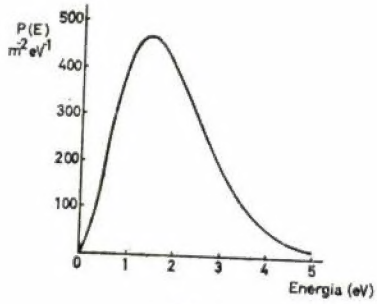


FIG. 1

Processos de colisão e de absorção na atmosfera, reduzem o fluxo para cerca de 1 KW/m^2 na superfície terrestre, sendo o valor prático utilizável ainda reduzido devido a factores como sejam as condições climatéricas locais e a circunstância da energia solar só poder obviamente ser aproveitada ao nível do terreno durante o período do dia em que existe radiação solar.

Caracteristicamente, a energia recebida por ano numa superfície horizontal numa região da Europa Central é de cerca de 1.000 KWh/m^2 e de 1.800 KWh/m^2 em certas regiões da África, donde se depreende que 1 % da superfície terrestre poderia fornecer-nos toda a energia que actualmente se exige, mesmo contando com um rendimento de conversão de 10 %. Naturalmente que isto obrigaria à resolução de problemas ainda longe de estarem satisfeitos, como sejam o de recolher convenientemente a radiação solar, concentrá-la economicamente, armazená-la e integrá-la nos sistemas energéticos já existentes.

2 — CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR EM ELÉCTRICA

Uma das formas de aproveitar a energia solar, consiste em convertê-la directamente em electricidade existindo fundamentalmente dois processos distintos: as células solares e os sistemas solares termoeléctricos.

Manuscrito recebido para publicação em 14/7/78.

O primeiro destes processos, objecto da nossa atenção neste documento, baseia-se no chamado efeito fotovoltaico que caracteriza determinados sólidos cristalinos os quais convertem de forma directa a energia electromagnética da radiação solar em energia eléctrica, sem necessidade de quaisquer ciclos intermédios e não envolvendo movimentos mecânicos, o que os torna de funcionamento relativamente simples e cientificamente sistemas muito elegantes.

A operação dum sistema fotovoltaico exige o uso dum material no qual os transportadores de carga pares electrão-lacuna — possam ser gerados facilmente através da absorção da radiação solar e duma barreira de potencial interna que permita a separação destes transportadores de carga, a partir da região onde são gerados. Os materiais semicondutores obedecem à primeira condição e as junções p-n à segunda.

Na figura 2 mostra-se o esquema simplificado duma célula fotovoltaica.

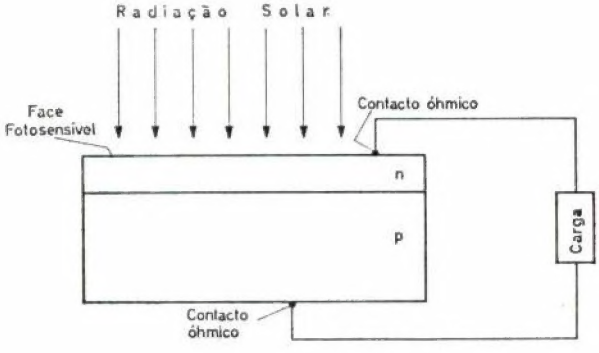


FIG. 2

Esquema simplificado duma célula fotovoltaica

Quando a célula é iluminada pela radiação solar, aparece aos seus terminais uma diferença de potencial contínua, tipicamente da ordem dos 0.5 Volts. As correntes disponíveis nestas condições, à volta dos 30 mA/cm^2 dependem obviamente da superfície exposta à radiação e dos materiais empregados. No processo de conversão, são libertadas cargas eléctricas que se constituem numa corrente eléctrica logo que se estabeleça um circuito conveniente. A corrente fluirá apenas durante a incidência da radiação, não havendo portanto qualquer mecanismo de armazenamento de energia implícito.

O Silício e o Selénio aparecem-nos como os elementos semicondutores que melhor preenchem as condições básicas mais importantes para a conversão fotovoltaica. Existem todavia compostos binários tais como o Cds, CU_2S, GaAS, CdTe... que obedecem também àquelas condições mas nem todos são susceptíveis de se tornarem de uso comum dado o elevado custo da sua preparação.

Na Tabela I apresenta-se o rendimento máximo teórico que se pode atingir com alguns materiais semicondutores. Na prática, porém, apenas se atingem valores que estão muito àquem dos limites apresentados na tabela.

TABELA I

Semicondutores	Largura de banda (ev)	Rendimento
Si	1,11	20 %
InP	1,25	23 %
GaAS	1,40	24 %
CdTe	1,45	21 %
GaP	2,23	17 %
CdS	2,4	16 %

As razões para os relativamente baixos rendimentos máximos apresentados pelos semicondutores hoje em uso, são fundamentalmente as seguintes:

a) Utilização duma parte muito restrita da energia dos fotões incidentes, responsáveis pela criação dos pares electrão-lacuna, sendo a energia excedente perdida internamente.

b) Absorção incompleta da radiação incidente.

c) Perdas por reflexão óptica na superfície.

d) Aproveitamento incompleto dos pares gerados, parte dos quais se perdem por recombinação.

3 — TIPOS DE CÉLULAS SOLARES

Os factores que afectam a escolha dum dado material para as células fotovoltaicas dependem em grande parte da aplicação que se pretende dar. Há fundamentalmente quatro factores predominantes:

1) O rendimento de conversão.

2) A temperatura de operação.

3) A resistência à radiação especialmente durante a operação no espaço exterior onde as células podem ser bombardeadas por partículas de alta energia (electrões e protões).

4) O custo da célula no seu conjunto.

Tendo em atenção estes factores, poder-se-á, no que respeita às aplicações, recorrer aos seguintes materiais básicos cuja tecnologia se encontra respectivamente desenvolvida, em fase de desenvolvimento ou ainda no campo da investigação aplicada:

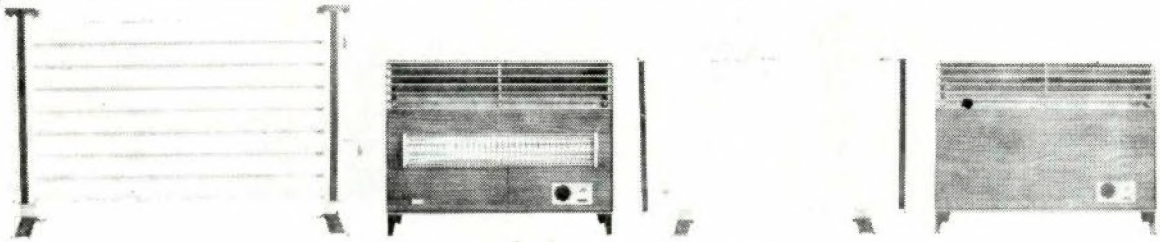
a) Células solares de Silício.

A célula de Silício é constituída por uma junção p-n do mesmo semicondutor mas com impurezas diferentes, tipo n e tipo p, com o lado dopado com impurezas tipo p voltado para a radiação incidente. Através da figura 3 pode ficar-se com uma ideia da disposição que este tipo de célula usualmente toma.

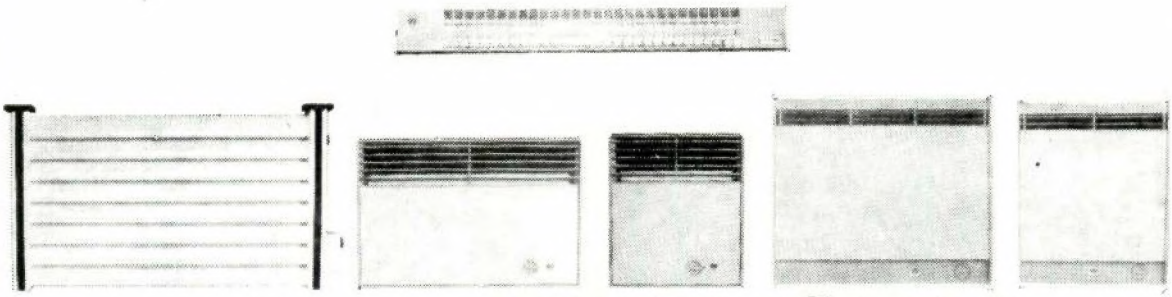
PRESTÍGIO
CONFORTO
QUALIDADE

proporciona-lhe o maior fabricante do País
DE AQUECIMENTO ELÉCTRICO

EFACEC



modelos móveis



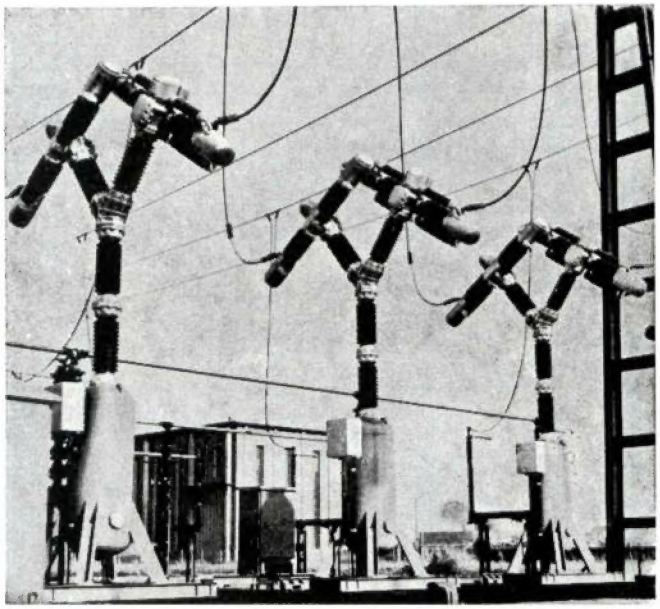
modelos para a **CONSTRUÇÃO CIVIL**

EFACEC
EMPRESA FABRIL DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS, S.A.R.L.

EFACEC

a grande marca portuguesa de material eléctrico

Disjuntores Brown Boveri de ar comprimido para instalações ao ar livre, para as mais elevadas capacidades de ruptura e tensões de serviço



Instalação de disjuntores ao ar livre, de 245 kV, em serviço na Electricité de France, com disjuntores de ar comprimido, tipo DLF 245, capacidade de ruptura 12 GVA.

Fornecemos:

Disjuntores de ar comprimido para instalações ao ar livre, para tensões de serviço de 72.5 até 765 kV
Correntes nominais de 2000 até 4000 A
Correntes de ruptura até 72 kA

- Elevado grau de segurança
- Construção robusta
- Amplas possibilidades de adaptação ao funcionamento com potências mais elevadas de ruptura devido ao tipo de construção por blocos
- Tempos minimos de disparo
- Aptos a reengate automático rápido

Aproximadamente 20 000 disjuntores Brown Boveri de ar comprimido instalados ao ar livre garantem em 45 paises o funcionamento de rêdes de alta tensão.

BROWN BOVERI

Representada em Portugal por:

Sociedade de Electricidade

Brown Boveri Limitada

Rua de Sá da Bandeira, 481-2°, Porto

151 663 d VI

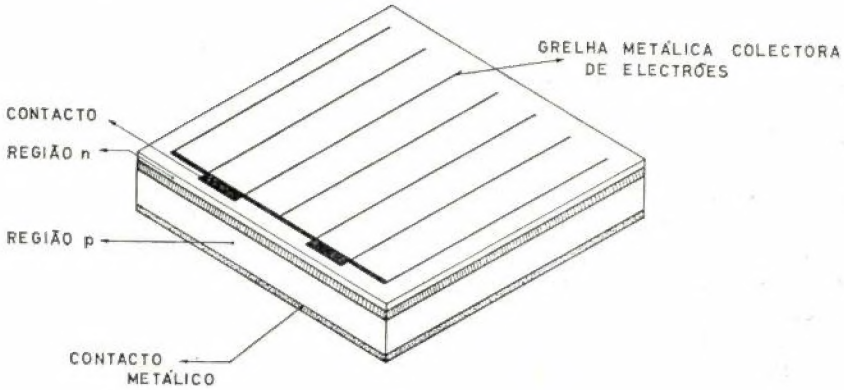


FIG. 3

Representação duma célula solar de silício típica

As principais vantagens das células de Silício, residem no facto de se apoiarem numa tecnologia já bastante conhecida, apresentarem rendimentos de conversão relativamente bons (cerca de 12 %) boa estabilidade e fundamentalmente usarem um material abundantemente existente na natureza.

No entanto a preparação do material na forma cristalina, torna as células bastante onerosas — mais 500$00 por watt.

b) Células Solares de CdS/Cu_2S.

A célula de CdS/Cu_2S consiste numa junção p-n entre dois semicondutores de material diferente, sendo o CdS tipo n e o Cu_2S tipo p. A radiação solar é absorvida pelo Cu_2S.

Na fig. 4 poderá ver-se a constituição duma célula solar deste tipo.

A camada de CdS é formada por depoisição térmica no vácuo, geralmente sobre um suporte de vidro vulgar, apresentando uma estrutura policristalina de razoável estabilidade. Este tipo de célula é muito sensível à temperatura e à radiação incidente.

Os rendimentos de conversão são da ordem dos 6,5 %, portanto relativamente baixos, apresentando no entanto a grande vantagem de se tornarem bastante económicas na utilização terrestre em larga escala, exigindo uma tecnologia pouco sofisticada.

c) Ga As; Silício amorfo.

As células solares feitas à base de Gs As, apresentam os melhores rendimentos de conversão e são pouco sensíveis à temperatura, o que as aponta como sérias candidatas às aplicações no espaço em ambientes de alta temperatura.

Por outro lado, porém, o gálio é um elemento pouco abundante, de difícil preparação o que torna as células extremamente onerosas, razão porque a sua tecnologia de fabricação ainda se encontra numa fase incipiente.

Outros materiais, como o InP, CdTe, embora potencialmente interessantes não têm sofrido grande desen-

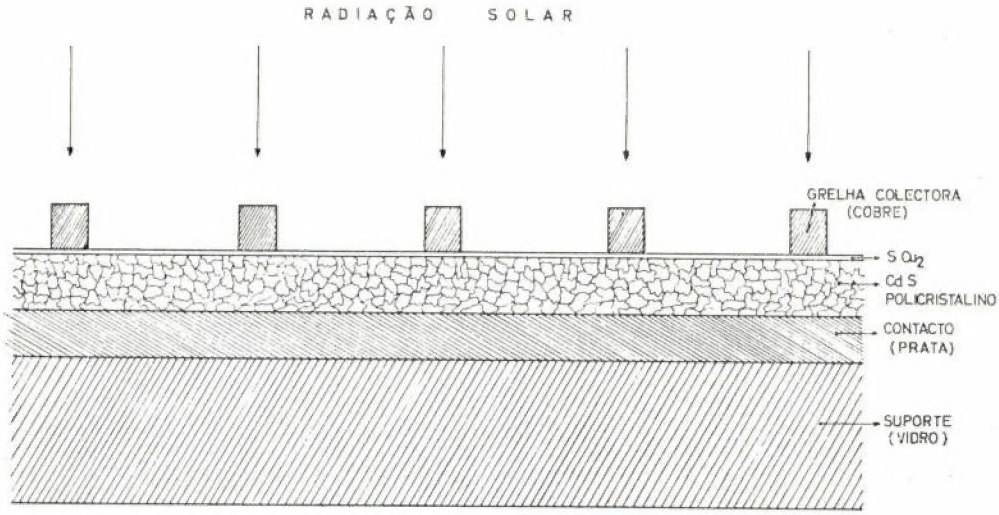


FIG. 4

volvimento, em face das contrariedades que apresentam, especialmente as relativas ao factor económico.

Há no entanto a considerar ainda o aparecimento recente de células solares que usam semicondutores amorfos, germânio e silício, que embora apresentando rendimentos de conversão relativamente baixos, da ordem dos 6 % poderão vir a desempenhar um papel de grande importância no aproveitamento da energia solar, dado o baixo custo da matéria-prima empregada e da simplicidade da tecnologia envolvida.

O Centro de Física Molecular das Universidades de Lisboa do INIC tem a decorrer um projecto de investigação destinado a desenvolver as células Solares de CdS/Cu_2S e de Silício amorfo. Foram já obtidas as primeiras amostras de células de Silício amorfo com resultados plenamente satisfatórios, esperando-se que nos primeiros meses de 1981 se apresente o primeiro módulo solar pronto a utilizar. O processo utilizado na obtenção dos depósitos semicondutores baseia-se na decomposição do SiH_4 (3 % Si em Ar) através duma descarga luminosa R. F., com acoplamento indutivo ou capacitivo.

4 — APLICAÇÕES

As primeiras células solares, manufacturadas a partir de monocristais de silício, tiveram a sua principal aplicação no fornecimento de energia eléctrica a módulos espaciais (instrumentos das naves espaciais e de satélites artificiais, câmaras de televisão destinadas a transmitir imagens para a terra, etc.) aplicações estas que se devem às suas características de reduzido peso, simplicidade, eficiência e facilidade de utilização em qualquer ponto do espaço.

A utilização em larga escala das células solares a aplicações terrestres, tem vindo a fazer-se progressivamente associando-se a outros tipos de aproveitamento da energia solar, nomeadamente os colectores planos podendo afirmar-se que brevemente, digamos já na década 1980-1990, a associação de todas estas formas de aproveitamento, poderá vir a cobrir pelo menos 20 % das necessidades em energia, isto em países onde existe um planeamento e investimento adequados.

As principais aplicações previstas para as células solares e algumas em uso sistemático, são as seguintes:

— geradores de energia para comunicações por satélite;
— estações repetidoras para rádio-televisão em microondas;
— sistemas para ajuda à navegação;
— energia para televisão educativa em locais onde não exista rede de distribuição de energia eléctrica;
— energia para sistemas de comunicação para os mais diversos fins;
— alimentação local de motores de rega;
— pequenas unidades fornecedoras de energia para vários fins, em locais onde não chega a rede de distribuição.

Este trabalho encontra-se aberto para discussão até 31 de Janeiro de 1981.

NOTICIÁRIO

HOMENAGEM AO PROFESSOR FERRER MONCADA

Solicita-se a todos os inscritos para a homenagem ao Professor Moncada o envio dos originais *tão brevemente quanto possível*. Mantém-se, no entanto, a data limite de recepção de originais em 15 de Janeiro de 1981.

Aconselhamos os Autores a cingirem-se às normas de publicação e política editorial sob pena de **não** aceitarmos os trabalhos.

A DIRECÇÃO DA TÉCNICA

CENTRO DE FÍSICA DA MATÉRIA CONDENSADA (INIC)

No dia 11 de Novembro o Doutor J. Soffer (de Marselha) realizou uma conferência intitulada *Comprenons-nous les experiences de polarization?*

A 18 do mesmo mês teve lugar uma outra conferência sendo orador o Doutor J. Dias Deus (do CFMC). Intitulou-se *Variações sobre um método variacional para a mecânica quântica dos mesões.*

Está a decorrer o Seminário da Linha 5: *Física das partículas elementares e física matemática,* o qual decorre na Sala 209 do Instituto de Física e Matemática, Av. Prof. Gama Pinto, 2, — 1600 Lisboa — Tel. 77 33 38.

Na terça-feira, dia 2 de Dezembro, o Professor Manuel Garrido (CAUL) apresentou a conferência *Formulação Maxwelliana da mecânica dos fluidos,* a qual se integrava nos Seminários da Linha 5 (Física Teórica e Métodos Matemáticos).

(Continua na pág. 95)

CLUSIUS E DICKEL — Um método de separação menos convencional [*]

M. FÁTIMA MORGADO (1)
JOÃO DE DEUS S. PINHEIRO (2)
Centro de Química Pura e Aplicada
da Universidade do Minho

RESUMO

A coluna gravitacional tem sido estudada do ponto de vista teórico e quanto ao seu campo de aplicação em pequena e larga escala. Da discussão teórica do processo e dos resultados experimentais publicados pode concluir-se que a coluna termogravitacional tem um poder de separação virtualmente *universal*. Pelo estudo de casos concretos de aplicação conclui-se pelo grande interesse do processo em escala laboratorial e preparativa semi-industrial, para produtos cujo grau de pureza implica preços elevados ou em que os processos convencionais se mostram inadequados.

ABSTRACT

The thermogravitacional column has been studied by a theoretical point of vue and by the point of view of its application field in small and large scale. Both from the theoretical discussion of the process and the experimental results that have been published one can conclude that the thermogravitacional column has a virtually *universal* separation power. By the discussion of concrete application cases we think one can conclude by the great interest of the process not only in laboratorial scale but also in preparative semi-industrial scale whose degree of purity implies hygh prices or for which conventional processes appear to be inadequate.

1 — INTRODUÇÃO

Nos últimos anos têm suscitado um interesse crescente novos métodos de separação baseados em causas pouco convencionais da força motriz responsável pelo processo de separação tais como: gradiente de concentração, gradiente de pressão, gradiente de potencial eléctrico, gradiente de temperatura. Alguns desses métodos já deram resultados susceptíveis de aplicação nos campos industrial e biomédico demonstrando potencialidades que os métodos tradicionais não possuíam.

Entre os métodos não convencionais de separação têm particular interesse aquele em que o processo de separação é provocado por um gradiente de temperatura existente no seio da mistura.

2 — EFEITO SORET. MECANISMO DA SEPARAÇÃO

Quando uma mistura líquida binária é sujeita a um gradiente de temperatura gera-se no seu seio um gradiente de concentrações resultante das diferentes mobilidades das espécies, tendendo um dos componentes a concentrar-se junto da zona mais quente e o outro junto da zona mais fria. É o que se chama ***efeito Soret ou de difusão térmica***.

Apesar de existir já, relativamente à difusão térmica em líquidos, um grande número de trabalhos teóricos e práticos, não existe ainda uma teoria definitiva relacionando o efeito Soret com as propriedades estruturais dos compostos implicados e traduzindo com suficiente rigor o mecanismo real do fenómeno, de modo a poder-se prever, com suficiente exactidão, o comportamento do processo e o seu aproveitamento industrial.

O estabelecimento duma teoria do efeito Soret depende, fundamentalmente, de se dispor de informações suficientes sobre a estrutura dos líquidos. Essa estrutura é ainda mal conhecida (em particular no que diz respeito às misturas de líquidos orgânicos), mas pensa-se que o estudo do fenómeno da difusão térmica contribuirá para o aprofundamento dos conhecimentos nesse domínio.

Vários autores têm, entretanto, apresentado algumas conclusões baseadas na experimentação que sobre o

---

* Apresentado no 2.º Encontro Nacional de Química, Porto, Janeiro 1979.

(1) Assistente do Instituto Superior de Engenharia do Porto, equiparada a bolseira.

(2) Professor Catedrático da Universidade do Minho.

Manuscrito recebido para publicação em 14/3/79.

assunto tem sido feita. Essas conclusões são, no entanto, mais ou menos particulares, de validade pouco geral e não constituem um cunjunto generalizável.

Chapman [1], baseando-se na teoria cinética dos gases e em vários resultados que obteve ao separar misturas gasosas e líquidas, concluiu que, quer nos gases, quer nos líquidos, as moléculas mais pesadas se afastam da zona quente concentando-se junto da zona fria.

Nyogi [2] constatou que ao separar a mistura n-heptano, n-álcool butílico, o álcool, cuja molécula é mais leve, se concentra junto à parede fria. Como, neste caso, esse facto não pode ser explicado por polimerização (como Clusius e Dickel [3] tinham feito para a mistura água-álcool absoluto) Nyogi concluiu que é a densidade que determina o sentido do gradiente da concentração. Por outro lado Wirtz [4] estabeleceu que a separação de isótopos em fase líquida é função do volume molecular, concentrando-se as moléculas de menor volume junto à zona quente.

Com Shafer e Corte [5] surgiu a teoria termodinâmica da separação em que o sentido do gradiente de concentração é relacionado com a entropia do sistema.

Segundo Jones [6], que estudou fundamentalmente misturas complexas dos óleos ulbrificantes, os materiais mais viscosos concentram-se no topo da coluna.

Drickamer [7] teve um papel importante na interpretação do mecanismo da separação de líquidos por difusão térmica: considerando a relação entre o calor molar de transporte (Q_1) e o volume parcial molar (V_1) concluiu que a separação por difusão térmica duma mistura de líquidos depende dos valores daquela relação.

Mais recentemente, Tyrrel [8] mostrou que, na maior parte dos casos, o componente que se acumula junto da parede fria é o de peso molecular mais elevado e que a relação dos parâmetros de solubilidade dos 2 componentes duma mistura líquida determina o sentido da separação.

Bott e Whysall [9] estudaram a separação por difusão térmica de várias misturas de líquidos e verificaram que na maioria dos casos o componente do peso molecular mais elevado se dirige para a parede fria conforme Tyrrell afirmara já. Esta regra não é no entanto geral: a mistura n-dodecano-quinolina, entre as que Bott e Whysall escolheram para estudo, contraria a regra.

Mais recentemente Bott e Silva [10], num total de 26 misturas,, verificaram que a comparação dos pesos moleculares, do ponto de ebulição ou dos parâmetros de solubilidade dos componentes duma mistura líquida binária não podem ser tomados como indicação do sentido da separação. Com efeito foram frequentes os desvios de comportamento das misturas experimentadas em relação às regras até agora enunciadas com base naqueles critérios. Quanto à massa volúmica naqueles 26 casos só na mistura iso-octano-hexadecano, o componente de massa volúmica maior não se dirigiu para a parede fria. Por outro lado importa salientar a verificação feita por aqueles autores de que o facto dos 2 componentes da mistura terem parâmetros de solubilidade iguais não impede que se separem por difusão térmica.

Destas tentativas ***falhadas*** de explicação para o mecanismo da difusão térmica nos líquidos uma conclusão se pode tirar: é possível aplicar o método a qualquer tipo de misturas não se sabendo porém prever o sentido dos fluxos ou o valor exacto do grau de separação atingível no equilíbrio.

3 — A COLUNA DE CLUSIUS e DICKEL

Praticamente uma coluna de difusão térmica é constituída por 2 paredes a temperaturas diferentes separadas por uma distância inferior a 5 mm. A coluna original de Clusius-Dickel [3] era uma coluna cilíndrica, com um fio aquecido no interior e reservatórios nas extremidades. Cedo, porém, foram introduzidas modificações na concepção da coluna, sendo fundamentalmente 2 os tipos de coluna hoje usados: as cilíndricas e as de placas paralelas.

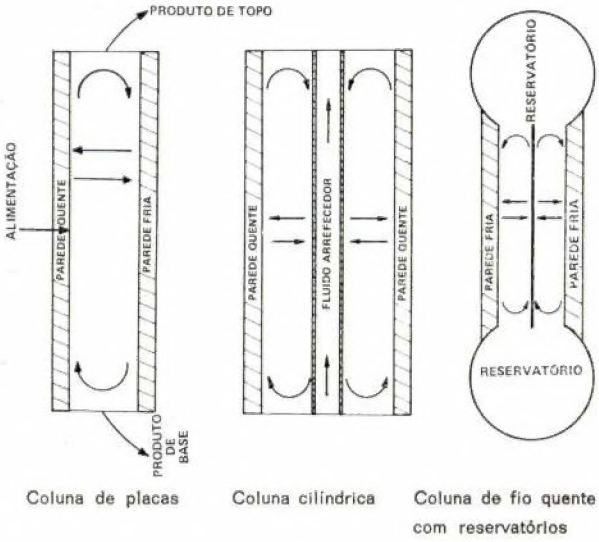


FIG. 1

As colunas de placas tem a vantagem de se poder variar a distância entre as paredes quente e fria ou o seu ângulo com a horizontal o que lhes confere uma certa flexibilidade de funcionamento. A possibilidade de variar a distância entre as placas é especialmente interessante, pois esta distância é um factor importante no processo de separação. Um dos maiores problemas com as colunas de placas é o seu encurvamento que causa efeitos seriamente prejudiciais.

As colunas cilíndricas são constituídas por 2 cilindros concentricos, a temperaturas distintas, colocando-se a mistura no espaço entre eles.

A mistura que preenche o espaço anular limitado pelas 2 paredes verticais a diferentes temperaturas, sofre 2 efeitos:

a — ***Separação horizontal*** provocada pelo referido efeito Soret

b — ***Separação vertical*** — resultante das correntes de convecção natural que «sobem» junto à parede quente, ***empurrando*** as moléculas que aí se concentram para o topo da coluna, e «descem» ao longo da parede fria transportando as outras moléculas para o fundo da coluna. O gradiente de concentração final resulta dum equilíbrio dinâmico entre processos tendencialmente opostos: o que acabamos de referir e o processo molecular de difusão ordinária que se verifica naqueles dois sentidos.

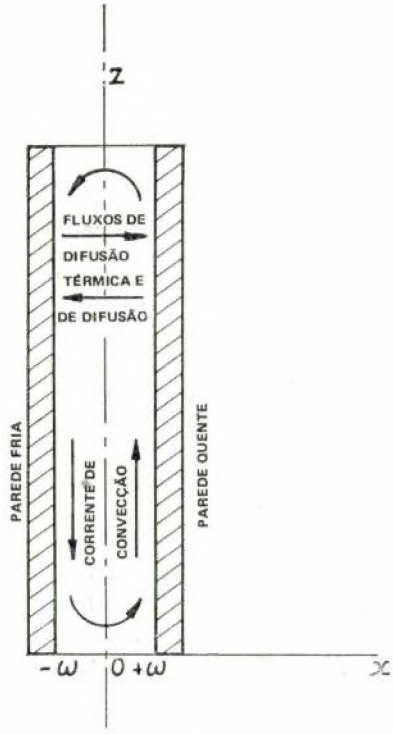


FIG. 2

Modelo da coluna de difusão térmica termogravitacional

A separação conseguida numa coluna pode caracterizar-se pelo ***factor de separação*** que se exprime, no equilíbrio, pela expressão

$$q_e = C_T\ (1 - C_B) / C_B\ (1 - C_T)$$

em que C_T e C_B são as concentrações do componente em questão respectivamente no topo da coluna e na base, e que é igual ao cociente entre a relação das concentrações dos 2 componentes no topo e na base da coluna. A definição de q_e traduz duma forma simples o que se passa na separação. É fácil ver que o seu valor é 1 quando não há separação, e tende para infinito quando a separação é total. A experiência mostra que as condições de separação comuns conduzem a factores de separação entre 2 e 5.

O factor de separação depende das características da mistura a separar, dos parâmetros operatórios e da geometria da coluna de acordo com a relação

$$\lambda = \ln q_e = \frac{504}{g\ \langle T \rangle} \cdot \frac{\alpha D \eta}{\beta} \cdot \frac{L}{(2w)^4}$$

em que

α — factor de difusão térmica da mistura
D — coeficiente de difusão ordinária da mistura
η — viscosidade da mistura
β — coeficiente de expansão volumétrica da mistura
g — aceleração da gravidade
$\langle T \rangle$ — Temperatura absouta média da mistura
L — comprimento da coluna
2w — espessura do espaço anular

É o parâmetro λ, a que se chama potencial da separação, que se utiliza habitualmente para medir o poder separador duma coluna. A sua avaliação tem sido dificultada devido à dispersão de valores de α que para uma mesma mistura tem sido reportados, agravado pela dependência deste factor da temperatura e da concentração. Em face desta situação vários autores optaram por considerar α como um parâmetro a determinar experimentalmente em cada caso. Romero e Pinheiro **[11]** apresentaram, recentemente, um método para a determinação do factor de difusão térmica duma mistura que tomando em consideração eventuais imperfeições das colunas é baseado num conjunto de valores de separações obtidas ao fim de diferentes intervalos de tempo.

A obtenção duma boa separação equivale à optimização do parâmetro λ. É evidente que as grandezas sobre as quais é possível actuar são as dimensões da coluna e a temperatura absoluta média, sendo também evidente que o aumento de λ é particularmente sensível à diminuição da espessura da coluna. Espessuras muito pequenas conduzem no entanto a grandes tempos de relaxação (tempo necessário para atingir o estado estacionário) e por outro lado a dificuldade mecânica de construção perfeita aumenta, o que é importante pois as irregularidades na espessura são responsáveis por grandes distorsões no funcionamento das colunas.

Quanto ao factor g a sua diminuição favorece a separação o que justifica a renovada e crescente atenção que os centros de investigação ligados aos programas espaciais têm vindo a dedicar à difusão térmica.

A actuação sobre o fluxo convectivo introduzindo enchimentos ou participações nas colunas aumentaram, dum modo geral, a separação. A complexidade da construção das colunas não compensa contudo a melhoria da separação. Verifica-se também que a rotação de 1 ou dos 2 cilindros que constituem a coluna influi favoravelmente na separação obtida.

É vulgar, para aumentar a separação e reduzir o tempo necessário à sua efectivação utiliza-se uma cascata de várias colunas.

Quanto ao fluxo horizontal, que é o que está relacionado com o mecanismo da difusão, só pode ser alterado alterando a mobilidade das moléculas. Para isso é necessária a actuação duma força que algebricamente se adicione à que resulta do gradiente de temperatura existente na mistura. Nesse sentido tem sido associadas à difusão térmica outras técnicas de separação. Merece especial referência a associação dum campo eléctrico ao gradiente térmico numa coluna-chamada coluna termoelectrogravitacional — onde a electroforese se associa à difusão térmica.

4 — ALGUNS ASPECTOS ENERGÉTICOS DA SEPARAÇÃO POR DIFUSÃO TÉRMICA

A apreciação do processo de separação por difusão térmica feito por Benedict **[12]** no fim dos anos 40 condicionou, até há muito pouco tempo, as opiniões sobre a viabilidade da sua aplicação. Aquele autor estudou a optimização das dimensões da coluna e concluiu que para uma dada separação a área de transferência de calor e o calor necessário são mínimos quando a diferença de temperatura entre as paredes fria e quente é tal que a temperatura absoluta da parede quente é 2 a 3 vezes a temperatura absoluta da parede fria. Nestas condições o processo tem uma baixa eficiência termodinâmica, em comparação com outros métodos de separação, e não é, portanto, competitivo.

Esta comparação com as operações unitárias tradicionais é, no entanto, muito discutível porque ao fazer-se esta comparação são ignorados exactamente os aspectos e virtuosidades mais interessantes da difusão térmica. Entre estes aspectos é de salientar o facto do potencial de separação — λ — ser inversamente proporcional à temperatura média absoluta de trabalho da coluna, o que permite utilizar fontes de calor *pobres*, aproveitando resíduos doutros processos, ou utilizar as colunas como permutadores de calor em instalações fabris pré-existentes. Deste modo o processo de difusão térmica pode realizar-se com custos energéticos virtualmente nulos por dispensar a criação propositada de fontes de calor.

5 — ALGUMAS APLICAÇÕES DA SEPARAÇÃO POR DIFUSÃO TÉRMICA

A experimentação até hoje efectuada permite afirmar que são separáveis por difusão térmica misturas tais como soluções e suspensões biológicas, soluções aquosas electrolíticas e não electrolíticas, soluções de polímeros, isómeros orgânicos, misturas orgânicas binárias e ternárias e quaisquer soluções de isótopos.

Muito recentemente Rutherford **[13]** partindo de bissulfureto de carbono com uma concentração isotópica natural (4, 18% S^{34}) conseguiu, numa cascata com 12 colunas, obter isótopo ^{34}S com uma concentração superior a 91%, embora com um caudal reduzido. Na sua opinião o método pode ser aplicado a muitos outros isótopos de interesse.

Um campo a investigar é o da separação das misturas racémicas dos amino-ácidos essenciais. Enquanto que a forma — ℓ — é indispensável à vida a — d — em muitos casos actua como veneno. A obtenção desses amino-ácidos por processos bioquímicos conduz às formas — ℓ — enquanto que uma síntese química ordinária conduz à forma racémica o que implica a sua posterior separação, que é difícil, mas que tudo leva a crer que se consiga por difusão térmica.

No campo biomédico a difusão térmica tem-se evidenciado prometedora. Gold **[14]** admitiu que em certas doenças alguns dos chamados parâmetros médicos podem aparecer com configuração molecular alterada e, consequentemente, serem separados numa coluna de difusão térmica.

BIBLIOGRAFIA

[1] **Chapman, S.**; Phil. Magy 38, 182 (1919).

[2] **Linpogy, K. C.**; Sci and Culture (Calcuta), 7, 567 (1942).

[3] **Ciusius, K.** and **G. Dickel**; Naturwissenschaften, 26, 546 (1938).
546 (1943).

[4] **Wirtz, K.** and **H. Corte**; Naturwissenschaften, 31, 349 (1943).

[5] **Shafer, K.** and **H. Corte**; Naturwissenschaften, 33, 99 (1946).

[6] **Jones, A. L.**; Ind Eng. Chem., 47, 212 (1955).

[7] **Drickamer, H. G.**; J. Chem. Phy. 23, 295 (1955).

[8] **Tyrrel, H. J. V.**; *Diffusion and heat flow in liquids*, Butterworth, London, 1961.

[9] **Bott, T. R.** and **Whysall, M.**; J. Chem. Eng. Japan, 7, n. 3, 167 (1974).

[10] **Silva, F. L.** and **Bott, T. R.** — *Chempor 75* —

[11] **Romero, J. J. B.** and **Pinheiro, J. D. R. S.** — Chem. Eng. Sci., 30, 1459 (1975).

[12] **Benedict, M.**; Chem. Eng. Prog. 1, 2, Trans. Am. Inst. Chem. Eng. 43, 41 (1947).

[13] **Rutheford, W. M.**; Ind. Eng. Chem. Process Dev.; 17, 77 (1978).

[14] **Gold, H.**; *Thermal Diffusion*, Clin. Chem. 17, 7, 1971.

Este trabalho encontra-se aberto para discussão até 31 de Janeiro de 1981.

Métodos rigido-plásticos de análise de estruturas actuadas por solicitações dinâmicas intensas [**]

CARLOS GUEDES SOARES *

RESUMO

Os métodos rigido-plásticos baseiam-se em desprezar as deformações elásticas dos materiais, considerando que estes se mantém rígidos até se atingir a tensão de cedência. Estes métodos tornam-se assim tanto mais realistas quanto maiores forem as deformações plásticas relativamente às elásticas, o que acontece em muitas situações que estão associadas a fenómenos sísmicos, colisões de veículos e explosões.

Apresenta-se uma revisão dos desenvolvimentos iniciais destes métodos, considerando-se estruturas simples do tipo de vigas, placas e cascas actuadas por solicitações dinâmicas intensas.

ABSTRACT

Elastic deformation is neglected by rigid-plastic methods which assume that materials stay rigid up to the yield stress.

The greater the plastic deformations, relative to elastic deformation, the more realistic these methods become, this being true for many situations related to seismic phenomena, vehicles crash problems and explosions.

A survey of the initial developments of these methods is presented for the cases of simple structures with beams, plates and shells subjected to very strong dynamic excitation.

1. INTRODUÇÃO

As solicitações de serviço a que qualquer estrutura é sujeita, são em regra substancialmenet inferiores às condições extremas que ela é capaz de suportar. Dado que frequentemente as referidas solicitações são aplicadas de uma forma lenta, o dimensionamento estrutural baseia-se fundamentalmente na determinação da resistência estrutural por meio de métodos estáticos de análise, considerando o material como elástico.

No entanto, o desenvolvimento dos métodos plásticos de análise [1] e dos cálculos à rotura [2], permitiram a determinação da capacidade última de resistência das estruturas e solicitações extremas. Estas solicitações, que provocam grandes deformações permanentes, estão frequentemente associadas a curtos períodos de actuação e à consequente resposta dinâmica da estrutura [3-8].

As três idealizações mais utilizadas para descrever as solicitações extremas são o impulso, a onda ou o pulso de pressão e o impacto. Uma solicitação impulsiva é caracterizada por induzir uma velocidade inicial à estrutura, não actuando qualquer carga após o início do movimento. A onda de pressão é idealizada como uma carga distribuída que é aplicada instantaneamente à estrutura, diminuindo de intensidade com o tempo. O impacto é caracterizado pela existência de um tempo finito entre a aplicação da carga e a altura em que ela atinge o seu valor máximo. Assim pode-se considerar a onda de pressão como o limite para que tende o impacto quando o tempo de subida da intensidade da carga tende para zero.

Resta referir que este tipo de solicitações pode ocorrer em acções sísmicas, em colisões de veículos motores e nos efeitos das explosões.

Para o estudo deste tipo de problemas, têm-se desenvolvido diversos métodos de análise, merecendo especial destaque o esforço havido nos últimos anos com a criação de programas de cálculo automático, capazes de prever a resposta transitória de estruturas complexas actuadas por solicitações intensas.

Há, no entanto, situações em que não é necessário conhecer detalhadamente a história do comportamento da estrutura no tempo, bastando uma simples estimativa da deformação final. Nestes casos, que ocorrem normalmente durante a fase de dimensionamento estru-

* Eng. Naval e Civil (Mass. Inst. of Tech.), Chefe da Secção de Estruturas, Gabinete de Estudos da Direcção-Geral do Material Naval.

** Para apresentação no 2.º Congresso Nacional de Mecânica Teórica e Aplicada, Lisboa, Outubro de 1979.

Manuscrito recebido para publicação em 18/10/79.

tural, os métodos rigido-plásticos são bastante atraentes, devido ao carácter analítico e frequentemente simples das soluções que se obtêm.

Estes métodos são de conhecimento e aplicação generalíada nos casos estáticos que ocorrem nos cálculos à rotura [3]. No presente trabalho apresentar-se-á uma panorâmica das aplicações destes métodos a casos dinâmicos considerando-se elementos estruturais do tipo de vigas, placas e cascas.

2. IDEALIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO RIGIDO PERFEITAMENTE PLÁSTICO

É extremamente complicado estimar a resposta de estruturas metálicas sujeitas a solicitações dinâmicas intensas. Para a sua análise, é necessário distinguir a resposta inicial da estrutura do seu comportamento a longo prazo.

Uma solicitação dinâmica, além de produzir uma resposta estrutural global, provoca ainda uma onda de tensão que se propaga através da espessura da estrutura. No entanto, o tempo de resposta é substancialmente diferente, no primeiro caso da ordem dos mili-segundos e no segundo da ordem dos micro-segundos, o que permite um tratamento separado dos dois comportamentos.

Assim tratar-se-á exclusivamente da resposta estrutural global, podendo-se encontrar um tratamento relativo a ondas de tensão na referência [9] entre outras.

Quando as solicitações são intensas, para além das dificuldades inerentes ao estudo do comportamento dinâmico transitório de estruturas elásticas, torna-se ainda necessário considerar vários factores adicionais tais como a dissipação de energia em deformações plásticas, o descarregamento elástico de estados plásticos, o endurecimento a frio do material, a dependência da tensão de cedência na velocidade de carregamento e os efeitos da alteração da geometria da estrutura, associados às grandes deformações experimentadas.

No entanto, a atitude frequente consiste em identificar um ou mais factores dominantes, os quais se tornam objecto de análise em detrimento dos restantes. Como os problemas de solicitações intensas estão normalmente associados a grandes deformações plásticas, torna-se realista desprezar as deformações elásticas e, é este o postulado básico da teoria rigido-plástica.

Na sua forma elementar, esta teoria envolve dois pressupostos fundamentais:

— Os materiais são representados por uma equação constitutiva rígida perfeitamente plástica, em que se desprezam todos os efeitos elásticos e o endurecimento a frio.
— A tensão de cedência é independente da velocidade de carregamento e as alterações de geometria são infinitesimais.

Assim, num material rígido plástico em tensão simples, as extensões são nulas para tensões inferiores à tensão de cedência (σ_0); para tensões iguais a σ_0 as extensões tornam-se indeterminadas e do mesmo sinal que as tensões; não são permitidas tensões superiores à tensão de cedência:

$$\begin{array}{lll} \varepsilon = 0 & \text{se} & |\sigma| < \sigma_0 \\ \text{sign } \varepsilon = \text{sign } \sigma & \text{se} & |\sigma| = \sigma_0 \\ |\sigma| \leq \sigma_0 & & \end{array}$$

Para estados de tensão compostos, torna-se necessário o recurso a um critério de cedência que relacione as tensões generalizadas que controlam a cedência do material. De acordo com o postulado de estabilidade de Drucker [10-11], as superfícies de cedência têm de ser convexas. Para além disso, quando os eixos das forças generalizadas coincidem com os eixos das extensões correspondentes, o vector de incremento da extensão tem de ser normal à superfície de cedência.

Os critérios mais vulgarmente utilizados para representar o comportamento dos metais são o de Tresca e o de Von Mises. Embora o critério de Von Mises represente melhor o comportamento dos metais, na maioria dos trabalhos analíticos que irão ser revistos, adoptou-se o critério de Tresca em face da simplificação que permite no tratamento matemático.

Conforme se referirá mais adiante, vários estudos experimentais confirmaram genericamente a validade da teoria elementar rigido-plástica na previsão dos mecanismos de deformação e na estimativa das deformações finais.

Mas, para se poder desprezar os efeitos elásticos, é necessário que a energia da acção externa seja substancialmente superior à energia que pode ser armazenada elasticamente na estrutura. No entanto, a energia não pode ser tão elevada que provoque alterações significativas na geometria da estrutura (as quais se supõem infinitesimais), ou que torne importnte os efeitos da velocidade de carregamento ou do endurecimento do material.

Definindo a *razão de energia* R, como o quociente entre o trabalho dissipado em deformação plástica e a energia máxima que o sistema pode absorver elasticamente, pode-se dizer que os métodos rigido-plásticos fornecem previsões satisfatórias para valores de R superiores a 3, desde que o tempo de actuação da acção externa seja inferior ao período natural de vibração da estrutura [4].

No entanto, a utilidade da teoria rigido-plástica manifesta-se não só nas previsões que a sua forma elementar permite, mas também na relativa facilidade com que inclui as correcções devidas a grandes deformações, ao efeito da velocidade de carregamento e ao endurecimento a frio.

A obtenção de soluções exactas para os problemas dinâmicos pode-se basear nos teoremas do cálculo plástico ou cálculo aos estados limites [2, 12, 13].

O *Teorema do Limite Inferior* diz que uma carga calculada a partir de um campo de tensões estaticamente admissível é inferior ou igual à carga limite à qual se dá o colapso plástico.

O *Teorema do Limite Superior* diz que a carga correspondente à criação de um campo de velocidades

cinematicamente admissível é superior ou igual à carga limite.

Assim, a solução exacta de um dado problema encontra-se limitada inferior e superiormente pelos resultados da aplicação dos dois teoremas referido. Obtém-se uma solução exacta quando se consegue determinar um limite inferior igual a um limite superior.

Resta referir que um campo de tensões é estaticamente admissível se satisfaz as condições de equilíbrio ou sua generalização quando há discontinuidades [14], a condição de cedência e as condições de fronteira existentes. Um campo de velocidades é cinematicamente admissível se satisfaz as condições de fronteira a condição de incompressibilidade do material e se o trabalho do sistema de solicitações associado iguala ou excede a taxa de dissipação de energia durante a cedência plástica.

Para utilizar estes teoremas que foram desenvolvidos para o caso estático basta que nas condições de equilíbrio referentes ao campo de tensões seja introduzido mais um termo relativo à inércia da estrutura, baseando-se no Princípio de d'Alembert.

3. APLICAÇÕES DA TEORIA RIGIDO-PLÁSTICA ELEMENTAR

O primeiro trabalho que contemplou as deformações plásticas produzidas numa viga por solicitações intensas é o de Duwez, Clark e Bohnenblust [15]. Este trabalho considerou o comportamento do material como elasto-pástico e é a única solcção exacta que se obteve para este tipo de problemas.

Bohnenblust resolveu o problema de uma viga infinita sujeita a um impacto transversal que se mantém indefinidamente com velocidade constante. Este estudo permitiu concluir que a extensão não se propaga na viga com uma velocidade constante como acontece quando há um impacto longitudinal. Assim a extensão na viga é proporcional ao quadrado da distância do ponto de impacto e ao tempo.

Esta solução apresenta, no entanto, limitações para casos reais por considerar a viga como infinita e por não permitir a determinação do movimento depois de se retirar a carga.

Já a análise de Lee e Symonds [16] trata de uma viga finita e livre permitindo estudar o efeito do impacto depois de se retirar a força ,embora considere um caso mais idealizado de comportamento do material. Na realidade, o trabalho de Lee e Symonds foi o primeiro a considerar a idealização rigido-plástica no estudo dinâmico de vigas.

Assim, uma viga rigido-plástica tem uma rigidez infinita e é capaz de se tornar subitamente plástica numa secção onde o momento flector devido às solicitações e inércia da viga, atinge o valor limite M_0. Este valor corresponde ao momento plástico da secção e ocorre com o alastramento das zonas plásticas a toda a secção da viga. Assim, M_0 representa um limite superior que o momento flector se aproxima com o aumento da curvatura na secção. Consequentemente podem ocorrer mudanças finitas de inclinação numa zona muito localizada onde se atinge o momento plástico. Diz-se que neste ponto existe uma rótula plástica e permite-se que se dêem rotações da viga em torno daquele ponto com um momento constante e igual a M_0.

Os primeiros estudos relativos ao comportamento rigido-plástico de vigas ocuparam-se de vigas livres.

Assim, o estudo de Conroy [17] contemplava a viga infinita e livre tratada por Bohnenblust [15]. O problema de uma viga infinita sujeita a uma força concentrada foi ainda estudado por Hopkins [18] e mais tarde por Conroy [19].

Lee e Symonds [16] e Symonds [20] que apresentaram a primeira solução para uma viga finita, analisaram também uma viga livre sujeita a um impacto no centro.

Salvatori e DiMaggio[21] estudaram também vigas livres sujeitas a uma carga distribuída caracterizada por um factor de concentração que varia de zero a infinito consoante a carga varia de uniformemente distribuída para concentrada no centro da viga. Symonds [22] apresentou várias soluções para vigas simplesmente apoiadas e duplamente encastradas, sujeitas a cargas distribuídas e concentradas, com variações no tempo de diverso tipo.

Parkes [23] apreesntou a primeira análise de uma viga encastrada num dos extremos sujeita a um impacto no outro extremo por uma massa móvel. Erza [24] estudou o problema de uma viga simplesmente apoiada sujeita a um impacto no centro enquanto Parkes [25] analisou uma viga duplamente encastrada actuada por um impulso em qualquer ponto ao longo do seu comprimento.

Youngdahl [26] retomou o problema da viga livre de Symonds [22] e estudou o efeito da forma do pulso de pressão que actua na viga. Stronge [27] analisou o problema correspondente para uma viga simplesmente apoiada.

Recentemente Krajcinovich [28] sintetisou os anteriores trabalhos e apresentou uma solução completa para o caso de uma viga simplesmente apoiada, sujeita a uma carga com variação arbitrária no tempo.

Outro tipo de estrutura que mereceu especial atenção foi a placa circular a qual quando sujeita a uma carga simétrica se reduz a um problema unidimensional na coordenada radial.

Hopkins e Prager [29] resolveram o problema de uma placa circular simplesmente apoiada, sujeita a um impulso de pressão rectangular, enquanto Florence [30] tratou do mesmo problema para uma placa encastrada. Wang e Hopkins [31] analisaram uma placa encastrada sujeita a uma carga impulsiva enqunto Wang [32] tratou do mesmo problema para uma placa simplesmente apoiada.

Perzyna [33] e Youngdah [34] retomaram o problema da placa simplesmente apoiada e estudaram o efeito de diferentes formas de pulso de pressão na deformação final da placa.

Florence [35] demonstrou que quando uma placa circular encastrada está carregada somente na região central, podem-se desenvolver mais dois mecanismos do que no caso de um carregamento total. A obtenção

da deformação final obrigou ao recurso a métodos numéricos os quais foram posteriormente modificados por Krajcinovic [36] que calculou a deformação final originada por pulsos de pressão de forma arbitrária. Conroy [37] analisou um problema idêntico ao de Florence [35] para uma placa em apoios simples.

Genericamente e, tal como acontecia nas vigas, há a formação de zonas plásticas que aqui têm a forma de círculos concêntricos. De um modo geral, para cargas suficientemente elevadas formam-se duas rótulas plásticas circulares que se propagam em direcção ao centro e aos apoios, atingindo-se o mecanismo final da deformação quando as rótulas atingem aqueles pontos.

Em todos estes estudos foi utilizado o critério de Tresca o qual relaciona os momentos flectores radial e circunferencial para a determinação da condição de cedência. Há no entanto estudos que utilizaram o critério de Von Mises [38] e o de Johanssen [39].

Todos os trabalhos diziam respeito a placas isotrópicas embora recentemente Ramu e Iyengar [40] já tenham considerado o comportamento de uma placa ortotrópica.

Além da placa circular sólida, há também análises relativas a placas anulares tendo estas sido estudadas por Shapiro [41] que considerou uma placa fixa no bordo interior e sujeita a uma velocidade constante no bordo exterior durante um lapso de tempo. A mesma estrutura actuada por um pulso de pressão numa faixa do bordo exterior foi analisada por Florence [42].

Mroz [43] estudou o comportamento de uma placa anular apoiada simplesmente no bordo exterior e sujeita à acção de um pulso rectangular de pressão uniformemente distribuído, problema que foi posteriormente reanalisado por Jones [44] que ampliou a análise para considerar também o efeito da alteração da geometria devida às grandes deformações. Outras análises de placas anulares devem-se ainda a Aggarwal e Abblow [45] e a Mazalov e Nemirovsky [46].

Embora seja vasta a literatura existente relativamente a placas circulares, só existe uma solução exacta para placas rectangulares e, mesmo este trabalho diz respeito ao caso mais simples de uma placa quadrada e considerou que a cedência ocorre de acordo com o critério de Johanssen, o qual foi adoptado como uma aproximação ao critério de Tresca. A placa quadrada estudada por Cox e Morland [47] é actuada por um pulso rectangular de pressão.

Os métodos rigido-plásticos foram também utilizados no estudo de cascas finas sujeitas a solicitações dinâmicas.

Hodge [48] estudou o comportamento de uma casca cilíndrica, infinita, reforçada por anéis igualmente espaçados, actuada por um pulso rectangular de pressão uniformemente distribuída e aplicada exteriormente à casca. Eason e Shield estudaram também um problema semelhante [49].

Youngdahl [26] reexaminou o problema para diferentes formas de pulsos de pressão e substituiu o efeito dos vários pulsos pelo de um impulso equivalente [50].

Jones analisou uma casca cilíndrica sujeita a uma solicitação interna impulsiva [51], o que é um problema análogo ao da solicitação externa quando se consideram deformações infinitesimais.

Neste caso, comparando os resultados da solicitação impulsiva com os do pulso rectangular de pressão analisado por Hodge [48], concluiu que as estimativas eram semelhantes quando as pressões eram superiores a cerca de dez vezes a carga de rotura estática.

Nestes estudos a cedência do material é controlada pelo esforço normal circunferencial e pelo momento flector longitudinal (N_θ e M_z) e a superfície de cedência adoptada é um quadrado que relaciona aquelas grandezas.

Sankaranarayanan [52], analisou o problema de uma casca esférica completa e de calotes esféricas simplesmente apoiadas e sujeitas a uma pressão externa uniforme, de carácter impulsivo, decaindo exponencialmente no tempo. Posteriormente esta análise foi ampliada e contemplou um pulso rectangular.

Considerou-se que o material obedecia à condição de cedência de Tresca mas, dada a complexidade do problema a superfície de cedência foi substituída por uma aproximação discreta proposta por Hodge [54] onde se contempla a interacção entre momentos M_θ e M_ϕ e entre esforços axiais N_θ e N_ϕ mas despreza-se a interacção entre esforços e momentos.

Do exposto pode-se verificar a extensão dos trabalhos relativos à aplicação da teoria rigido-plástica elementar ao estudo de diversas formas estruturais. É de salientar a grande percentagem de trabalhos relativos a vigas e a placas circulares e a extrema dificuldade que é introduzida pela falta de simetria existente nas placas rectangulares.

4. ESTUDOS EXPERIMENTAIS

Algum tempo após os primeiros trabalhos teóricos, conduziram-se alguns estudos experimentais com vista a verificar a validade da teoria.

Humphreys [55] conduziu uma série de testes em vigas de aço com secção rectangular, encastradas nos dois extremos e sujeitas a uma carga transversal uniforme. Florence e Firth [56] executaram vários ensaios com vigas duplamente encastradas e simplesmente apoiadas, de alumínio e de aço, sujeitas a um impulso uniformemente distribuído.

Estes programas de ensaios confirmaram os mecanismos de defromação previstos pela teoria rigido-plástica e deram uma correlação satisfatória com a deformação final da viga. O recurso à fotografia de alta velocidade permitiu identificar a formação de rótulas plásticas nos apoios logo após a actuação da carga. Posteriormente as duas rótulas propagam-se em direcção ao centro da viga onde se encontram e permanecem estacionárias até ao final do movimento.

As deformações permanentes que se obtiveram foram todas ligeiramente inferiores às previsões teóricas embora as correlações se possam considerar satisfatórias. As discrepâncias existentes foram atribuídas ao facto de as análises teóricas não terem em consideração o efeito da velocidade de carregamento.

Parkes [23] conduziu um extenso programa de ensaios em vigas encastradas sujeitas ao impulso de uma massa. Bodner e Symonds [57] realizaram também ensaios em vigas encastradas com vista a determinar a importância dos efeitos desprezados na teoria rigido-plástica, incluindo o das deformações elásticas.

Forrestal e Wesenberg [58] conduziram novos ensaios em vigas de alumínio actuadas por cargas impulsivas. Neste estudo, além da deformação final obtiveram também a história do deslocamento do ponto central da viga. Estes resultados foram comparados com as previsões de um programa de cálculo automático capaz de prever a resposta transitória de estruturas elasto-plásticas. Outras comparações entre resultados experimentais e resultados numéricos podem-se encontrar em Symonds e Jones [59] e em Jones e Guedes Soares [60] no caso de vigas e em Witmer e al. [61] e em Duffey e Key para placas circulares [62].

Outros programas experimentais relativos a placas circulares foram conduzidos por Florence [30] enquanto Jones et al realizou testes em placas rectangulares [63] e em cascas [64].

Existem alguns outros estudos experimentais os quais no entanto se destinavam a comprovar a validade de desenvolvimentos da teoria elementar pelo que não serão considerados aqui.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se uma panorâmica dos trabalhos iniciais de aplicação da teoria rigido-plástica elementar a estruturas simples sujeitas a cargas intensas.

Limitações de espaço impediram que se considerassem outro tipo de aplicações bem como os desenvolvimentos da teoria, os quais permitem a inclusão dos efeitos das deformações finitas, da velocidade de carregamento, do endurecimento a frio e dos esforços transversos, o que será tratado noutro local [65].

As dificuldades matemáticas trazidas pelo desenvolvimento da teoria rigido-plástica levaram a que se desenvolvessem métodos aproximados que permitem obter estimativas razoáveis da deformação final e do tempo de resposta da estrutura.

Tais métodos que também não foram aqui analisados, consistem na obtenção de limites para as deformações [66, 67] e na utilização de métodos modais [68-71].

Resta ainda referir que os métodos rigido-plásticos, que se mostram atraentes para uma fase inicial de dimensionamento estrutural, se completam com os métodos numéricos [72-76] os quais se mostram mais apropriados para uma fase posterior de análise estrutural.

6. REFERÊNCIAS

[1] **F. Correia de Araújo** — *Elasticidade e Plasticidade*, Porto, 1961.

[2] **A. Ravara** — *Princípios de Cálculo à Rotura em Materiais Homogéneos — Metais Dúcteis*, TÉCNICA, N.º 324, Jan. 1963, pg. 281.

[3] **R. Pinheiro Torres** — *Cálculo à Rotura de Pórticos de Aço Macio*, Porto, 1965.

[4] **P. S. Symonds** — *Survey of Methods of Analysis for Plastic Deformation of Structures Under Dynamic Load Problems*, Report BU/NSRDC/1--67, Brown University, 1967.

[5] **W. Johnson** — *Impact Strength of Materials*, Edward Arnold, London, 1972. (Caps. 6-8).

[6] **L. M. Kachanov** — *Fundamentals of the Theory of Plasticity*, Mir Publishers, Moscovo, 1974 (Cap. 11).

[7] **B. Rawlings** — *Response of Structures to Dynamic Loads*, Mechanical Properties at High Rates of Strain, J. Harding (Ed.) Inst. of Phys., Londres, 1974, pg. 279.

[8] **N. Jones** — *Recent Progress in the Dynamic Plastic Behavior of Structures*, The Shock and Vibration Digest, Vol. 10, N.º 9, 10 1978, pg. 21, pg. 13.

[9] **N. Cristescu** — *Dynamic Plasticity*, North-Holland, Amsterdão, 1967.

[10] **D. C. Drucker** — *A More Fundamental Approach to Plastic Stress-Strain Relations*, Proc. 1st. U. S. Cong. App. Mech., 1951, pg. 487.

[11] **D. C. Drucker** — *A Definition of Stable Inelastic Material*, J. App. Mech., Vol. 26, 1959, pg. 101.

[12] **D. C. Drucker, W. Prager, H. J. Greenberg** — *Extended Limit Design Theorems for Continuous Media*, Quart. App. Math., Vol. 9, 1952, pg. 381.

[13] **D. C. Drucker, H. J. Greenberg, E. H. Lee, W. Prager** — *On Plastic-Rigid Solutions and Limit Design Theorems for Elastic-Plastic Bodies*, Proc. Ist. U. S. Cong. App. Mech., 1951, pg. 533.

[14] **W. Prager** — *Discontinuous Fields of Plastic Stress and Flow*, Proc. 2nd. U. S. Cong. App. Mech., 1954, pg. 21.

[15] **P. E. Duwez, D. S. Clark, H. F. Bohnenblust** — *The Behavior of Long Beams Under Impact Loading*, J. Appl. Mech., Vol. 17, 1950, pg. 27.

[16] **E. H. Lee, P. S. Symonds** — *Large Plastic Deformations of Beams Under Transverse Impact*, J. Appl. Mech., Vol. 19, pg. 308, 1952.

[17] **M. F. Conroy** — *Plastic-Rigid Analysis of Long Beams Under Transverse Impact Loading*, J. Appl. Mech., Vol. 19, pg. 465, 1952.

[18] **H. G. Hopkins** — *On the Behaviour of Infinitely Long Rigid-Plastic Beams Under Transverse Concetrated Load*, J. Mech. Phys. Sol., Vol. 4, 1955, pg. 38.

[19] **M. F. Conroy** — *The Plastic Deformation of Built — in Beams Due to Distributed Dynamic Loading*, J. Appl. Mech., Vol. 31, pg. 507, 1964.

[20] **P. S. Symonds** — *Dynamic Load Characteristics in Plastic Bending of Beams*, J. Appl. Mech., Vol. 20, 1953, pg. 475.

[21] **M. G. Salvatori, F. DiMaggio** — *On the Devellopment of Plastic Hinges in Rigid-Plastic Beams* Quat. Appl. Math., Vol. 11, 1953, pg. 223.

[22] **P. S. Symonds** — *Large Plastic Deformations of Beams Under Blast Type Loandig*, Proc. 2nd. U. S. Cong. Appl. Mech., 1954, pg. 505.

[23] **E. W. Parkes** — *The Permanent Deformation of a Cartilever Struck Transversely at its Tip.*, Proc. Roy Soc., Vol. A2 8, pg. 462, 1955.

[24] **A. A. Erza** — *The Plastic Response of a Simply Supported eBam to an Impact Load at the Center*, Proc. 3rd. U. S. Cong. Appl. Mech., 1958, pg. 513.

[25] **E. W. Parkes** — *The Permanent Deformation of an Encastré Beam Struck Transversely at any Point in its Span*, Proc. Inst. Civ. Eng., Vol. 10, pg. 277, 1958.

[26] **C. K. Youngdahl** — *Correlation Parameters for Eliminating the Effect of Pulse Shape on Dynamic Plastic Deformation*, J. Appl. Mech., Vol. 37, 1973, pg. 1110.

[27] **W. J. Stronge** — *Efficient Pulse Shapes to Plastically eDform eBams*, J. Appl. Mech., Vol. 96, 1974, pg. 604.

[28] **D. Krajcinovic** — *Dynamic Response of Rigid--Plastic eBams — General Case of Loading*, J. Struct. Mech., Vol. 3, 1975, pg. 439.

[29] **H. Hopkins, W. Prager** — *On the Dynamics of Plastic Circular Plates*, Z. Angew. Math. Phys., Vol. 5, 1954, pg. 137.

[30] **A. L. Florence** — *Circular Plate Under a Uniformly Distributed Impulse*, Int. J. Sol. Struct., Vol. 2, 1966, pg. 37.

[31] **A. J. Wang, H. G. Hopkins** — *On the Plastic Deformation of Built-in Circular Plates Under Impulsive Load*, J. Mech. Phys. Sol., Vol. 3, 1954, pg. 22.

[32] **A. J. Wang** — *The Permanent Deflection of a Plastic Plate Under Blast Loading*, J. Appl. Mech., Vol. 22, 1955, pg. 375.

[33] **P. Perzyna** — *Dynamic Load Carying Capacity of a Circular Plate*, Arch. Mech. Stos., Vol. 10, 1958, pg. 635.

[34] **C. K. Youngdahl** — *Influence of Pulse Shape on the Final Plastic Deformation of a Circular Plate*, Int. J. Sol. Struct., Vol. 7, 1971, pg. 1127.

[35] **A. L. Florence** — *Clamped Circular Rigid-Plastic Plates Under Central Blast Loading*, Int. J. Sol. Struct., Vol. 2, 1966, pg. 319.

[36] **D. Krajcinovic** — *Clamped Circular Rigid-Plastic Plates Subjected to Central Blast Loading*, Comp. Struct., Vol 2, 1972, pg. 487.

[37] **M. F. Conroy** — *Rigid-Plastic Analysis of a Simply Supported circular Plate due to Dynamic Circular Loanding*, J. Franklin Institute, Vol. 228, 1969, pg. 121.

[38] **G. Eason** — *Velocity Fields for Circular Plates with the Von Mises Yield Condition*, J. Mech. Phys. Sol., Vol. 6, 1958, pg. 231.

[39] **A. L. Florence** — *Response of Circular Plates to central Pulse Loading*, Int. J. Sol. Struct., Vol. 13, 1977, pg. 109.

[40] **S. A. Ramu, K. J. Iyengar** — *Plastic Response of Orthotropic Circular Plates Under Blast Loading*, Int. J. Sol. Struct., Vol. 12, 1976, pg. 125.

[41] **G. S. Shapiro** — *On a Rigid-Plastic Annular Plate Under Impulsive Load*, Prik. Mat. i. Mek., Vol. 23, 1959, pg. 234.

[42] **A. L. Florence** — *Annular Plate Under a Transverse Line Impulse*, Am. Inst. Aeron. Astron. J., Vol. 3, 1965, pg. 1726.

[43] **Z. Mroz** — *Plastic Deformations of Annular Plates Under Dynamic Loads*, Archs. Mech. Stoso., Vol. 10, 1958, pg. 499.

[44] **N. Jones** — *Rigid-Plastic Behavior of Plates*, Bull. Mech. Engng. Educ., Vol. 9, 1970 pg. 235.

[45] **H. R. Aggarwal, C. M. Ablow** — *Plastic Bending of an Annular Plate by Uniform Impulse*, Int. J. Non-Linear Mech., Vol. 6, 1971, pg. 69.

[46] **V. N. Mazalov, J. V. Nemirovsky** — *Dynamical Bending of Rigid-Plastic Annular Plates*, Int J. Non-Linear Mech., Vol. 11, 1976, pg. 25.

[47] **A. D. Cox, L. W. Morland** — *Dynamic Plastic Deformations of Simply Supported square Plates*, J. Mech. Phys. Sol., Vol. 7, 1959, pg. 229.

[48] **P. G. Hodge** — *Impact Pressure Loading of Rigid-Plastic Cylindrical Shells*, J. Mech. Phys. Sol., Vol. 3, 1955, pg. 176.

[48] **G. Eason, R. T. Shield** — *Dynamic Loading of Rigid-Plastic Cylindrical Shells*, J. Mech. Phys. Sol., Vol. 4, 1956, pg. 53.

[50] **C. K. Youngdahl** — *Dynamic Plastic Deformation of Circular Cylindrical Shells*, J. Appl. Mech., Vol. 39, 1972, pg. 746.

[51] **N. Jones** — *The influence of Large Deflections on the Behavior of Rigid-Plastic Cylindrical Shells Loaded Impulsivelly*, J. Appl. Mech., Vol. 37, 1970, pg. 416.

[52] **R. Sankaranarayanan** — *On the Dynamics of Plastic Spherical Shells*, J. Appl. Mech., Vol. 30, 1963, pg. 87.

[53] **R. Sankaranarayanan** — *On the Impact Pressure Loading of a Plastic Spherical Cap*, J. Appl. Mech., Vol. 33, 1966, pg. 704.

[54] **P. G. Hodge** — *Yield Conditions for Rotationally Symmetric Shells Under Axisymmetric Loading*, J. Appl. Mech., Vol. 27, 1960, pg. 323.

[55] **J. S. Humphreys** — *Plastic Deformation of Impulsively Loaded Straight Clamped Beams*, J. Appl. Mech., Vol. 32, 1965, pg. 7.

[56] **A. L. Florence, R. D. Firth** — *Rigid-Plastic Beams Under Uniformly Distributed Impulses*, J. Appl. Mech., Vol. 32, 1965, pg. 481.

[57] **S. R. Bodner, P. S. Symonds** — *Experimental and Theoretical Investigation of the Plastic Deformation of Cantilever Beams Subjected to Impulsive Loading*, J. Appl. Mech., Vol. 29, 1962, pg. 719.

[58] **M. J. Forrestal, D. L. Wesenberg** — *Elastic-Plastic Response of 6061T6 Aluminum Beams to Impulse Loads*, J. Appl. Mech., Vol. 43, 1976, pg. 259.

[59] **P. S. Symonds, N. Jones** — *Impulsive Loading of Fully Clamped eBams with Finite Plastic Deflections and Strain Rate Sensitivity*, Int. J. Mech. Sci., Vol. 14, 1972, pg. 49.

[60] **N. Jones, C. Guedes Soares** — *Higher Modal Dynamic Plastic Behavior of Beams Loaded Impulsively*, Int. J. Mech. Sci., Vol. 20, 1978, pg. 135.

[61] **E. A. Witmer, E. N. Clark, H. A. Balmer** — *Experimental and Theoretical Studies of Explosive-Induced Large Dynamic and Permanent Deformations of Simple Structures*, Exp. Mech., Vol. 7, 1967, pg. 56.

[62] **T. A. Duffey, S. W. Key** — *Experimental-Theoretical Correlations of Impulsively Loaded Clamped Circular Plates*, Exp. Mech., Vol. 9, 1969 pg. 241.

[63] **N. Jones, R. N. Griffin, R. E. Van Duzer** — *An Experimental Study into the Dynamic Plastic Behavior of Wide Beams and eRctangular Plates*, Int. J. Mech. Sci., Vol. 13, 1971, pg. 721.

[64] **N. Jones, J. W. Dumas, J. G. Giannotti, K. E. Grassit** — *The Dynamic Plastic Behavior of Shells*, Dynamic Response of Structures G. Herrmann, N. Perrone (Eds.), Pergamon Press, L972, pg. 1.

[65] **C. Guedes Soares** — *Aspectos Não Lineares na Aplicação da Teoria Rigido-Plástica aos Problemas Dinâmicos* (em preparação).

[66] **J. B. Martin** — *Impulsive Loading Theorems for Rigid-Plastic Continua*, J. Eng. Mech. Div., Am. Soc. Civ. Eng., Vol. 90, 1964, pg. 27.

[67] **J. B. Martin** — *On the Application of the Bounding Theorems of Plasticity to Impulsively Loaded Structures*, Dynamic Response of Structures, G. Herrmann, N. Perrone, (Eds.), Pergamon Press, 1972, pg. 73.

[68] **J. B. Martin, P. S. Symonds** — *Mode Approximations for Impulsively Loaded Rigid-Plastic Structures*, J. Eng. Mech. Div., Am. Soc. Civ. Eng., Vol. 92, 1966, pg. 43.

[69] **P. S. Symonds, S. T. Chon** — *On Dynamic Plastic Mode-Form Solution*, J. Mech. Phys. Sol., Vol. 26, 1978, pg. 21.

[70] **C. Guedes Soares** — *Discussion on Large Dynamic Plastic Deflection of Plates by Mode Method*, . Engr. Mech. Div., Am. Soc. Civ. Eng., Vol. 103, 1977, pg. 1194.

[71] **C. Guedes Soares** — *An Approximate Solution for the Finite Deflections of a Circular Plate Loaded Impulsively*, aceite para apresentação no Euromech Colloquium 121, on Dynamics and Crushing Analysis of Plastic Structures, Institute of Fundamental Technological Research, Polish Academy of Scienle, 27-31 Agosto 1979.

[72] **E. A. Witmer, H. A. Balmer, J. W. Leech, T. H. H. Pian** — *Large Dynamic Deformations of Beams Rings, Plates and Shells*, Am. Soc. Aeron. Astron. ., Vol. 1, 1963, pg. 1848.

[73] **J. H. Argyris, D. W. Scharpf** — *Finite Elements in Time and Space*, Nuc Engng. Des., Vol. 10, 1969, pg. 456.

[74] **O. C. Zienkiewicz, C. J. Parekh** — *Transient Field Problems: Two-Dimensional and Three--Dimensional Analysis by Isoparametric Finite Elements*, Int. J. Num. Meth. Engng., Vol. 2, 1970, pg. 61.

[75] **H. D. Hibbitt, P. V. Marçal, J. R. R.ce** — *A Finite Element Formulation for Problems of Large Strain and Large Displacement*, Int J. Sol. Struct., Vol. 6, 1970, pg. 1069.

[76] **R. W.-H. Wu, E. A. Witmer** — *Non-Linear Transient Responses of Structures by the Spacial Finite Element eMthod*, Am. Inst. Aeron. Astron. ., Vol. 11, 1973, pg. 1110.

Este trabalho encontra-se aberto para discussão até 31 de Janeiro de 1981.

(Continuação da pág. 84)

NOTICIÁRIO

MICROCOMPUTADORES — III

Nos passados dias 12-14/11/1980 realizou-se no L. N. E. C. o Seminário 268 Microcomputadores III.

Passamos a descrever algumas das comunicações apresentadas:

[1] **João Rodrigues de Oliveira** — *Microinformática. — Que Evolução para os Anos 80?* — CENTRO DE INFORMÁTICA — L. N. E. C.

[2] **Luís Arriaga da Cunha** — *Modelo de Sistema de Ficheiros Mono-Utilizador para Microcomputador.* — CENTRO DE INFORMÁTICA — L. N. E. C.

[3] **Alberto Cunha; Hélio Fernandes; Luís Melo; Pedro Veiga** — *Geração de Formas de Onda com Base num Microcomputador* — I. S. T.

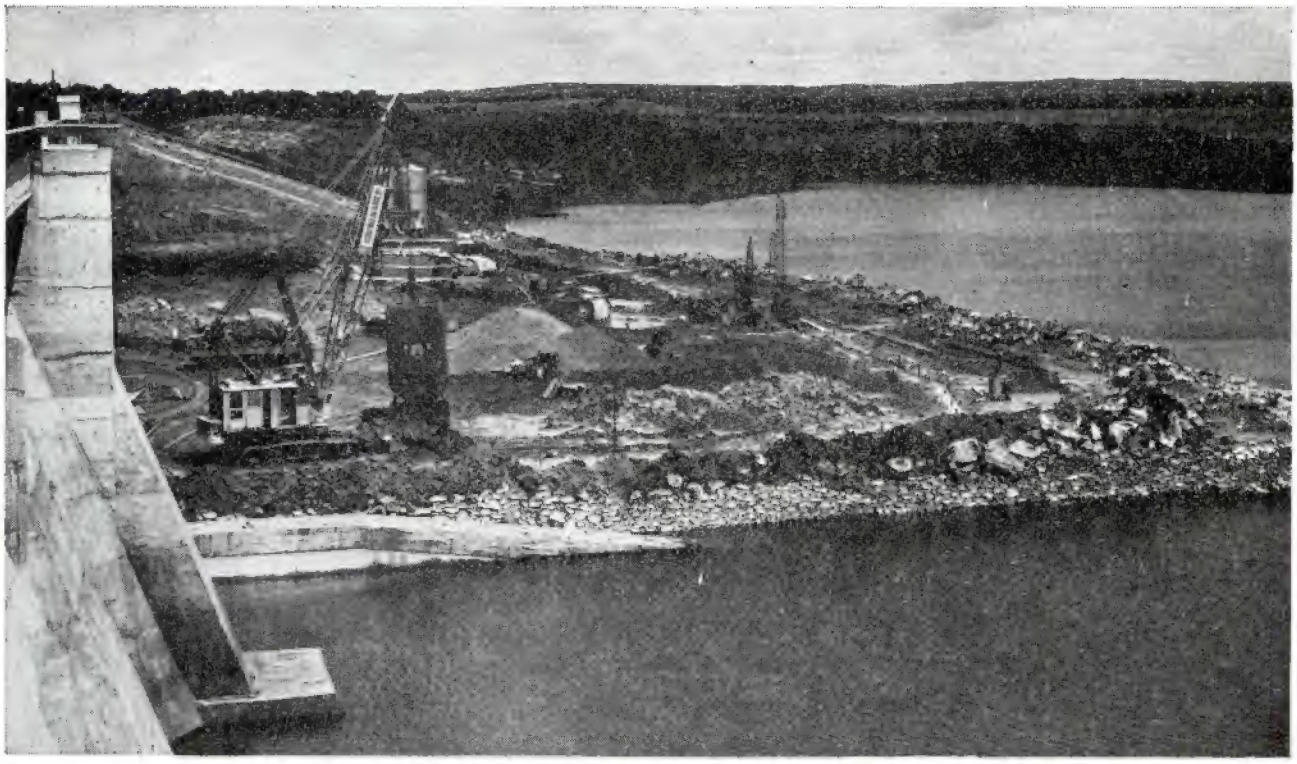
[4] **José Delgado; Abel Veloso; Manuela Veloso; Pedro Veiga** — *Técnicas de Interface entre Gravadores de Cassette Convencionais e Microcomputadores* — I. S. T.

[5] **Hirácio Neto; Nuno Pedro; António Pires; Pedro Veiga** — *Controlo de um Impressor por Matriz de Pontos* — I. S. T.

[6] **António Joaquim Serralheiro; Joaquim Nunes; José Delgado; António Manuel Leal** — *Projecto Cifra* — LINHA 1 DO C. A. P. S. — COMPLEXO INTERDISCIPLINAR — I. N. I. C.

[7] **L. M. Camarinha de Matos** — *Uma Aplicação de Microinformática a Gestão de Stoks* — DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA — U. N. L.

(Continua na pág. 109)



TRABALHOS DE REPARAÇÃO E CONSOLIDAÇÃO DA BARRAGEM DO ROXO

Tratamento do talude de contenção da albufeira, no encontro da margem direita, do lado montante, de forma a permitir a escavação com cerca de 23 m. de profundidade para o prolongamento da barragem gravidade.

Natureza dos trabalhos realizados:

- Cortina plástica de estanqueidade, moldada no solo.
- Sondagens — amostragem integral.
- Furação para injecções — ensaios tipo Lugeon.
- Injecções para impermeabilização do maciço rochoso no prolongamento da cortina plástica.
- Instalação de piezómetros e inclinómetros.
- Drenagem de maciço rochoso.

TEIXEIRA DUARTE, LDA.

SEDE:
Av. da República, 42 / Telef. 73 30 86 / Telex 18548 TEDEX P / 1094 LISBOA Codex

A lei de Hooke relativista

A. BROTAS e J. C. FERNANDES
Instituto Superior Técnico
Universidade Técnica de Lisboa

RESUMO

São deduzidas as fórmulas da elasticidade relativista dos corpos não rígidos que generalizam as fórmulas da elasticidade dos corpos rígidos, devidas a McCrea, apresentadas num número anterior da TÉCNICA (n.° 449).

É sugerida a utilização destas fórmulas no estudo do colapso gravitacional e estabelecida a equação do equilíbrio gravítico de uma esfera de um líquido *rígido*.

SUMMARY

The formulas of relativistic elasticity of non rigid bodies are deduced. These formulas generalize the rigid body elesticity formulas, due to McCrea, presented in the number 449 of TÉCNICA.

The utilization of these formulas in the study of gravitational collapse is suggested and the gravitic equilibrium equation of a *rigid* liquid sphere is established.

Em artigo publicado no n.º 449/450 da TÉCNICA foram apresentadas as fórmulas da elasticidade (a uma dimensão) do *corpo rígido relativista* entendido não como o corpo *rígido-indeformável* (à maneira de Born), mas sim como o corpo *mais rígido possível*. Este corpo limite que em Física Clássica se identifica, porque nada o impede, ao corpo indeformável, em Relatividade terá de ser o corpo em que as ondas de choque se propagam com a velocidade limite c. Foi a partir deste dado que McCrea, por processos elementares e por duas vias que se confirmam, estabeleceu as referidas fórmulas publicadas na TÉCNICA.

Neste artigo, por processos semelhantes, mas que envolvem algumas pequenas dificuldades, estabelecemos para o caso dos materiais não rígidos (no sentido não rígido-limite) as fórmulas, que julgamos inéditas, das leis relativas correspondentes à lei de Hooke da Elasticidade Clássica.

* * *

Recordemos um resultado da Elasticidade clássica para que raras vezes se chama a atenção.

Quando uma barra homogénea choca contra uma parede, no caso da lei elástica ser linear (lei de Hooke) propaga-se a partir da parede uma onda de choque de velocidade $V = \sqrt{E\,\rho^{-1}}$ que separa a fracção da barra comprimida e parada da fracção ainda em movimento com a velocidade inicial.

No caso da lei elástica ser não linear, o problema é mais complexo, e a onda de choque decompõe-se numa

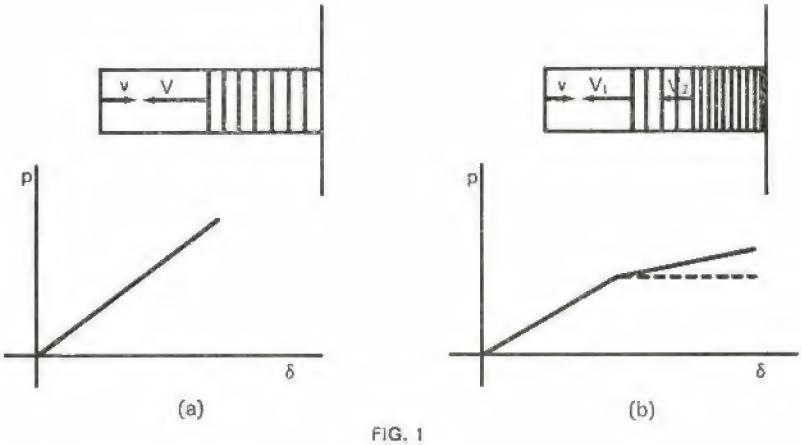


FIG. 1

Manuscrito recebido para publicação em 6/5/80.

sobreposição de ondas de velocidades diferentes, com pelo menos uma frente de onda e uma zona de transição, em geral contínua. (No caso, por exemplo, da lei elástica ser do tipo representado na figura 1 b, propagam-se na barra duas frentes de onda de velocidades diferentes).

A existência nas condições referidas de uma onda de choque com velocidade única é, assim, uma característica da lei de Hooke. Parece legítimo partir desta condição na procura de uma conveniente lei de Hooke relativista.

* * *

Consideremos pois, agora em Relatividade, uma barra homogénea de comprimento ℓ_o e densidade própria ρ_o^o quando não comprimida, que se desloca com uma velocidade v, longitudinal, num referencial S.

Admitamos que o choque da barra contra uma parede provoca uma onda de choque de velocidade V que separa a parte comprimida e imóvel da parte ainda em movimento.

Sendo ℓ o comprimento da barra quando completamente parada e comprimida, obtemos facilmente:

$$1)\qquad s = \frac{\ell}{\ell_o} = \frac{V\sqrt{1-\beta^2}}{v+V} \quad ; \quad \beta = \frac{v}{c} .$$

Cálculos em tudo semelhantes aos apresentados no artigo **[1]** baseados na conservação da quantidade de movimento e na conservação da energia permitem-nos escrever:

$$2)\qquad p = \rho_o^o \frac{v(v+V)}{1-\beta^2} \qquad \text{e}$$

$$3)\qquad \rho_o^o c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right) = - \int_1^s p \, ds \quad .$$

Estes resultados são válidos qualquer que seja a velocidade v da barra. Derivando 3 em ordem a v e tendo em conta que V pode depender de v obtemos:

$$4)\qquad p = \rho_o^o \frac{v\left(1+\frac{v}{V}\right)^2 (1-\beta^2)^{-1}}{\frac{\beta}{c} + \frac{1}{V} - \frac{v}{V^2}\frac{dV}{dv} + \beta^2 \frac{v}{V^2}\frac{dV}{dv}} ,$$

resultado que deve condizer com o resultado 2. A igualdade das duas expressões exige:

$$5\text{-a})\qquad \frac{dV}{dv} = \frac{\frac{V^2}{c^2} - 1}{1-\beta^2} \quad \text{ou 5-b)} \quad \frac{dV}{1-\frac{V^2}{c^2}} + \frac{dv}{1-\frac{v^2}{c^2}} = 0 .$$

Estas relações devem ser encaradas como relações típicas dos materiais relativistas correspondentes aos materiais lineares da Física Clássica.

Integrando 5-b) obtemos:

$$6)\qquad \frac{c}{2}\left\{ \log \frac{1+\frac{V}{c}}{1-\frac{V}{c}} + \log \frac{1+\frac{v}{c}}{1-\frac{v}{c}} \right\} = C$$

ou

$$6\text{-b})\qquad \frac{\left(1-\frac{V}{c}\right)\left(1-\frac{v}{c}\right)}{\left(1+\frac{V}{c}\right)\left(1+\frac{v}{c}\right)} = e^{-2C/c} = K .$$

A constante C ou K, esta sempre positiva, caracteriza o material.

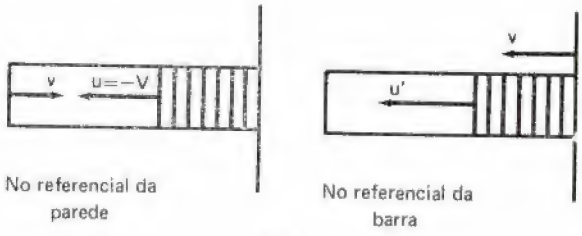


FIG. 2

V é a velocidade da onda de choque no referencial da parede. Passando a usar u = —V para respeitar o sentido positivo das velocidades usado na medição de v e fazendo:

$$7)\qquad u' = \frac{u-v}{1-\frac{uv}{c^2}} \quad ;$$

obtemos em vez de 6-b):

$$8)\qquad K = \frac{c+u'}{c-u'} \quad .$$

(Note-se que u' é negativo e K varia entre 0 e 1).

Recordando a lei de composição das velocidades vemos que u' é a velocidade da onda de choque no referencial próprio da barra (ou mais rigorosamente, no referencial inicial da barra). A relação 8 mostra-nos que u é independente de v. (No novo referencial, —v é a velocidade com que a parede vem chocar com a barra — figura 2).

Este resultado, idêntico ao da Física Clássica, era de suspeitar mas não estava provado à partida.

Eliminando v e V em 1, 2 e 6-b podemos obter p em função de s e K.

Usando em vez de K a constante

$$9)\qquad F = -\frac{u'}{c} = \frac{1-K}{1+K}$$

obtemos

$$10)\qquad p = \rho_o^o\, c^2 \frac{F^2}{1-F^2}\left[1 - \frac{s}{\sqrt{1-F^2+F^2\, s^2}}\right]$$

expressão que no caso limite dos corpos rígidos ($u' = -c$; $F=1$) toma a forma já conhecida:

$$11)\qquad p = \frac{\rho_o^o\, c^2}{2}\left(\frac{1}{s^2} - 1\right)$$

Definindo um módulo de elasticidade E para as pequenas deformações à maneira habitual encontramos:

$$12)\qquad E = -\left(\frac{d\,p}{d\,s}\right)_{s=1} = F^2\, \rho_o^o\, c^2 = u'^2\, \rho_o^o\ ,$$

o que nos permite escrever:

$$13)\qquad |u'| = \sqrt{\frac{E}{\rho_o^o}}$$

o que coincide com o resultado clássico.

No caso de um corpo não rígido ($F < 1$) a fórmula 10 dá-nos, nos casos limites $s=0$ (compressão total) e $s=\infty$ (tracção ilimitada):

$$14)\qquad p(0) = \rho_o^o\, c^2 \frac{F^2}{1-F^2} \quad \text{e} \quad p(\infty) = \rho_o^o\, c^2 \frac{-F}{1+F}\ .$$

Eliminando V entre 1 e 6 e usando 9 podemos escrever s sob a forma:

$$15)\qquad s = \frac{1 - \dfrac{v}{F\,c}}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{1 + \dfrac{v}{u'}}{\sqrt{1-\beta^2}}\ .$$

Dado s ser necessariamente positivo, as fórmulas apresentadas (e a descrição que fizemos do choque) só tem sentido no caso de $v < |u'|$. A situação é semelhante à da Física Clássica, em que a elasticidade linear (lei de Hooke) só é concebível nos casos em que é satisfeita a mesma relação $v < |u'|$. (Caso contrário a parede avançaria sobre a barra mais depressa do que a onda de choque).

Para a densidade temos, tal como no caso dos corpos rígidos, a relação:

$$16)\qquad \rho_o = \frac{\rho_o^o}{s\sqrt{1-\beta^2}}$$

Usando as fórmulas 1, 6-b e 9 podemos escrever

$$17)\qquad \rho_o = \rho_o^o\, \frac{\sqrt{1 - F^2 + F^2\, s^2} - F^2\, s}{(1 - F^2)\, s}\ .$$

Relacionando esta expressão com a expressão de p obtemos a equação de estado

$$18)\qquad \rho_o = \frac{\dfrac{p}{c^2} + \rho_o^o}{1 + \dfrac{p}{c^2\, \rho_o^o}\left(1 - \dfrac{1}{F^2}\right)}$$

(note-se que em $s=0$ p é finito mas ρ é ∞).

No caso limite $F=1$ as fórmulas 17 e 18 dão-nos, respectivamente, as fórmulas já conhecidas da elasticidade dos corpos rígidos:

$$19)\qquad \rho_o = \rho_o^o\left(\frac{1}{s^2} + 1\right)$$

e

$$20)\qquad \rho = \rho_o^o + \frac{p}{c^2}$$

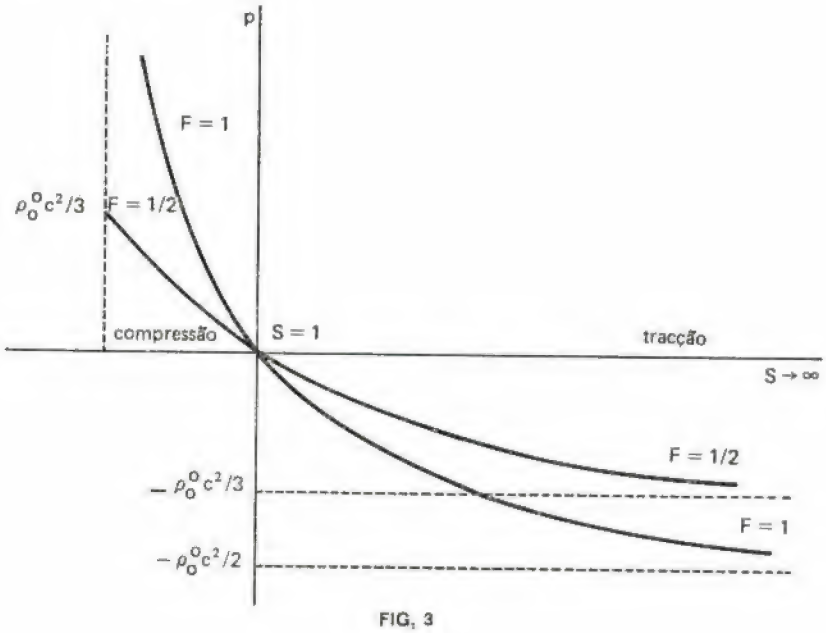


FIG. 3

A consideração de corpos extensos que obedecem a leis elásticas bem definidas permite uma abordagem nova de uma série de problemas de Relatividade centrados em torno das relações do espaço-tempo com objectos extensos.

Consideremos, por exemplo, o problema da detecção das eventuais ondas de gravitação cuja discussão se arrasta há uma boa quinzena de anos. Neste problema, a dificuldade está em que, por um lado, há que considerar o espaço-tempo que obedece a determinadas equações e cuja descrição é eminentemente relativista, e por outro, há que descrever os aparelhos necessários para detectar as eventuais ondas. Estes aparelhos, sendo extensos, são, nos textos correntes, descritos como objectos clássicos. Daqui uma situação mista e uma confusão em que é difícil as pessoas (leitores e autores) entenderem-se.

A nosso ver há que fazer uma conveniente descrição relativista dos aparelhos de detecção para o problema ficar claramente formulado.

* * *

A título de exemplo vamos aplicar as fórmulas expostas ao estudo do colapso gravitacional.

Notemos em primeiro lugar, que se justifica o uso dos conjuntos de fórmulas 11, 19, 20 ou 10, 17, 18 no estudo, pelo menos no caso das compressões, dos líquidos rígidos e não rígidos (em que a rigidez será, bem entendido, de volume e não de forma). Com efeito, temos uma onda de choque a propagar-se do mesmo modo se, em vez de uma barra, tivermos um líquido contido num cilindro com uma extremidade tapada que vem chocar contra um pistão. (A única diferença na escrita das fórmulas está em que s, no caso geral, deverá ser definido não por uma relação entre comprimentos, mas pela relação entre o volume comprimido e o volume inicial).

Escrevendo a métrica (estática e com simetria esférica) do espaço-tempo sob a forma:

$$21)\qquad ds^2 = \frac{-d\,r^2}{1-\frac{2m}{r}} - r^2\,(d\theta^2 + \operatorname{sen}^2\theta\,.\,d\varphi^2) + \left(1-\frac{2m}{r}\right)c^2\,dt^2 \quad ; \quad m = m(r).$$

o estudo do equilíbrio gravítico de uma esfera líquida conduz às conhecidas equações (ver, por exemplo **[2]**):

$$22\text{-a})\qquad p = p\,(\rho)\ ;\ p = p\,(r)\ \text{e}\ \rho = \rho(r)$$

$$22\text{-b})\qquad m' = \frac{d\,m}{d\,r}\ ;\ m' = \frac{4\,\pi\,K\,\rho\,r^2}{c^2}$$

$$22\text{-c})\qquad \frac{p'}{c^2} = -\frac{m+4\,\pi\,K\,p\,r^3/c^4}{r(r-2m)}\left(\rho+\frac{p}{c^2}\right)\ ;\quad p' = \frac{d\,p}{d\,r}\,.$$

O problema do colapso anda à volta da escolha da conveniente equação de estado 22 a. Usando a equação 20 e eliminando as incógnitas p e ρ chegamos à equação:

$$23)\qquad m''\,r^2 - 2m'r - 2mrm'' + 6\,m\,m' - A\,\rho_o^o\,m\,r^2 + 2(m')^2\,r - 3\,A\,\rho_o^o\,m'r^3 + A^2\,\rho_o^{o\,2}\,r^5 = 0$$

$$\left(A = \frac{4\,\pi\,K}{c^2}\,,\ K \text{ constante de gravitação}\right).$$

Para além das soluções do tipo $m = a\,r^3$ que não se ajustam ao equilíbrio de uma esfera, gostaríamos bem de conhecer as outras soluções desta equação para tentar esclarecer a questão de ser ou não possível o colapso gravitacional de um líquido rígido. Tratando-se de um caso limite, no caso da resposta ser positiva, somos tentados a dizer que então deverá haver possibilidades de colapso para todos os materiais. No caso da resposta ser negativa convém continuar a fazer o estudo para outras leis elásticas, entre elas as leis do tipo 18.

BIBLIOGRAFIA

[1] **A. Brotas.** TÉCNICA n.º 449/450. 1978.

[2] **Adler, Bazin, Schiffer.** *Introduction to general Relativity.* McGraw-Hill. 1975.

Este trabalho encontra-se aberto para discussão até 31 de Janeiro de 1981.

Formação de quadros e cursos de mestrado no IST

LUIS VALADARES TAVARES (*)

RESUMO

Neste trabalho discute-se a necessidade de introduzir o Mestrado no sistema universitário nacional tendo em conta a evolução da Universidade Portuguesa durante as últimas décadas e as actuais necessidades de quadros avançados em certos domínios da Ciência e da Tecnologia.

Depois de apresentar alguns contributos visando a clarificação do conteúdo dos cursos de Mestrado, descrevem-se as propostas já aprovadas no IST e, por último, referem-se algumas implicações e questões em aberto suscitadas pelo novo grau.

ABSTRACT

The Master degree is discussed in terms of present needs for highly qualified staff in Portugal and the basic guidelines defined by IST for the new Master's courses are described in this paper. Finally, effects and debatable questions related to these new courses are also presented herein.

1 — O MESTRADO COMO NECESSIDADE VISANDO A FORMAÇÃO DE QUADROS

Os dois graus académicos com mais tradições na Universidade Portuguesa são, sem dúvida, a licenciatura e o doutoramento correspondendo aquela a uma formação superior e aprofundada num domínio vasto do conhecimento (por exemplo, Matemática ou Engenharia Civil) e representando o segundo o nível mais elevado de conhecimento em determinado tema sendo-lhe essencial a manifestação de capacidades para a investigação de novos conhecimentos científicos bem como de aptências para o ensino universitário, podendo compreender-se facilmente esta situação se se tiver em conta que a Universidade portuguesa foi muito influenciada pelos sistemas da Europa Continental, desde o modelo napoleónico para as escolas clássicas até aos padrões alemães para os cursos de Engenharia, bem visíveis, por exemplo, na estruturação inicial dos cursos de Engenharia do IST.

Este sistema é geralmente completado nos países de origem por outros graus menores (bacharelato, etc.) muitas vezes exteriores (ou até distantes) relativamente à Universidade e julga-se que esteve frequentemente bem adaptado às necessidades de quadros já que:

— Os números relativamente reduzidos de licenciados que anualmente deixaram a Universidade eram facilmente absorvidos pelas necessidades relativas a tarefas técnicas de nível efectivamente superior ou de direcção, chefia e administração, especialmente críticas nos períodos de crescimento económico vividos durante algumas décadas deste século.

— O largo espectro da licenciatura estava particularmente bem adoptado à polivalência exigida a tais quadros que durante a sua vida profissional eram chamados a desempenhar actividades bem diversas.

— As necessidades de especialização estreita, reciclagem ou actualização tecnológica eram geralmente satisfeitas nos países mais avançados através de sistemas de formação internos às empresas que, em alguns casos, atingiam níveis de organização, qualidade e desenvolvimento extremamente elevados, contribuindo assim para o prestígio da marca, mantendo a confidencialidade do respectivo know-how e consumindo os

(*) Prof. catedrático do IST, coordenador da Comissão de Pós-graduação do Conselho Científico do IST.
Original recebido para publicação em 4/11/80.

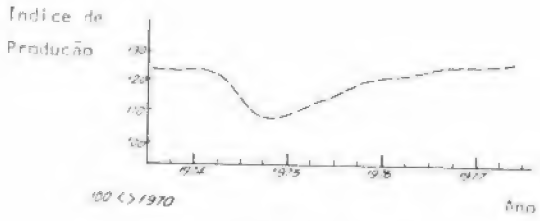
saldos excedentários bem característicos de períodos de abundância económica, enquanto que nas sociedades de periferia, a vinda de técnicos estrangeiros para distribuir os resultados desse know-how era uma solução suficientemente económica e eficiente.

Todavia, o final da década de 60 e o início dos anos 70 foram marcados por dois factos novos responsáveis pela alteração desta situação:

— a explosão demográfica dos efectivos escolares a qual aumentou fortemente o número dos potenciais alunos universitários;

— a desaceleração do crescimento económico que reduziu acentuadamente os índices relativos à procura de técnicos com formação universitária.

Ora perante tal conjuntura, foram raros os regimes políticos que restringiram o acesso à Universidade aos limites das necessidades o que não surpreende se se tiver presente a importância não só profissional mas também social do grau de licenciado, sendo exemplos flagrantes os bem conhecidos casos de França e Portugal. Entretanto a deterioração económica europeia determinada em grande parte pela crise de matérias-primas fundamentais, tais como o petróleo, e bem assim pela escassez de novos mercados, agrava-se além do previsível atingindo talvez o seu ponto mais crítico em 1975 (fig. 1) com elevadas taxas de desemprego e manifesta estagnação ou mesmo redução da produção industrial na maioria dos países europeus o que tornou ainda mais difícil a tomada de decisões adequadas aos problemas vividos na Universidade pois a sua resolução implicaria níveis elevados de investimento e impopularidade.



(in «Industrial Production», OECD, 1978-1)

FIG. 1

Evolução da produção das indústrias transformadoras nos países da Europa Ocidental, América do Norte, Austrália, Nova Zelândia e Japão

Assim, e para além de dificuldades específicas originadas por conjunturas políticas especiais como aquelas vividas em Portugal entre finais da década de 60 e meados dos anos 70, criou-se um claro desajustamento entre a oferta e a procura de técnicos qualificados pois:

— O vertiginoso aumento do número de alunos dos cursos universitários (fig. 2) originou uma redução da média e, principalmente, um aumento da dispersão, do nível de conhecimentos e capacidades do licenciado.

— A oferta de licenciados passou a exceder largamente a procura.

— O desenvolvimento das ciências, designadamente de novos domínios inter-disciplinares, bem como o progresso tecnológico, originaram necessidades de quadros não satisfeitas, quer pelas clássicas licenciaturas, quer pelos programas de formação das empresas entretanto cancelados ou reduzidos ao mínimo em virtude das dificuldades económicas experimentadas.

No caso de Portugal estes problemas foram vividos com especial dramatismo já que não havia a tradição do *numerus clausus* e as tentativas de descongestionamento através da criação das novas Universidades conheceram assinalável fracasso. A título exemplificativo, refira-se o caso da UNL criada em 1973 com três grandes objectivos, o primeiro dos quais era *Ajudar a descongestionar, na área de Lisboa, as duas Universidades existentes, criando-se uma maior capacidade de ensino* e que, ao fim de 7 anos de instalação, oferece três licenciaturas em Engenharia para cujo total o *numerus clausus* é de cerca de 15 % do relativo ao IST.

Entretanto, as Universidades anglo-saxónicas haviam sido contempladas por importantes investimentos realizados ainda nos anos de abundância da década de 60 e as suas múltiplas ligações com a indústria vocacionaram-nas para serem consideradas pelos respectivos governos como factores de desenvolvimento económico, do que aliás é exemplo significativo o programa de lançamento das novas universidades inglesas, criando-se assim no nosso país a situação indesejável de ser necessário emigrar durante alguns anos para aprofundar a formação em certo domínio mesmo que nele haja suficiente Know-how nacional. Com efeito, julga-se que a necessidade de dispor de técnicos altamente qualificados ou especializados em certos domínios específicos tem vindo a ser claramente demonstrada pelos significativos números de licenciados que ultimamente têm vindo a contemplar mestrados ou especializações no estrangeiro apesar dos elevados custos de tais cursos e é evidente que tão elevado número de saídas em domínios tão diversos mostra que a Universidade portuguesa não tem satisfeito tais carências. Na verdade, a produção de cursos de aprofundamento (Mestrado), de especialização, de reciclagem, etc. implica estruturas universitárias bem diferentes das requeridas pela simples leccionação de licenciaturas já que se tornam essenciais as actividades de investigação e de prestação de serviços ao exterior, inexistentes ou muito atrofiadas anteriormente só sendo possível desenvolver estas componentes se a Universidade possuir um apreciável corpo de professores e investigadores que vivam efectivamente nas suas instalações e não apenas de docentes *horistas* segundo a terminologia dos universitários brasileiros.

Ora, a integração em escolas universitárias portuguesas de muitos daqueles que obtiverem graus de Mestre ou Doutor por universidades estrangeiras, as

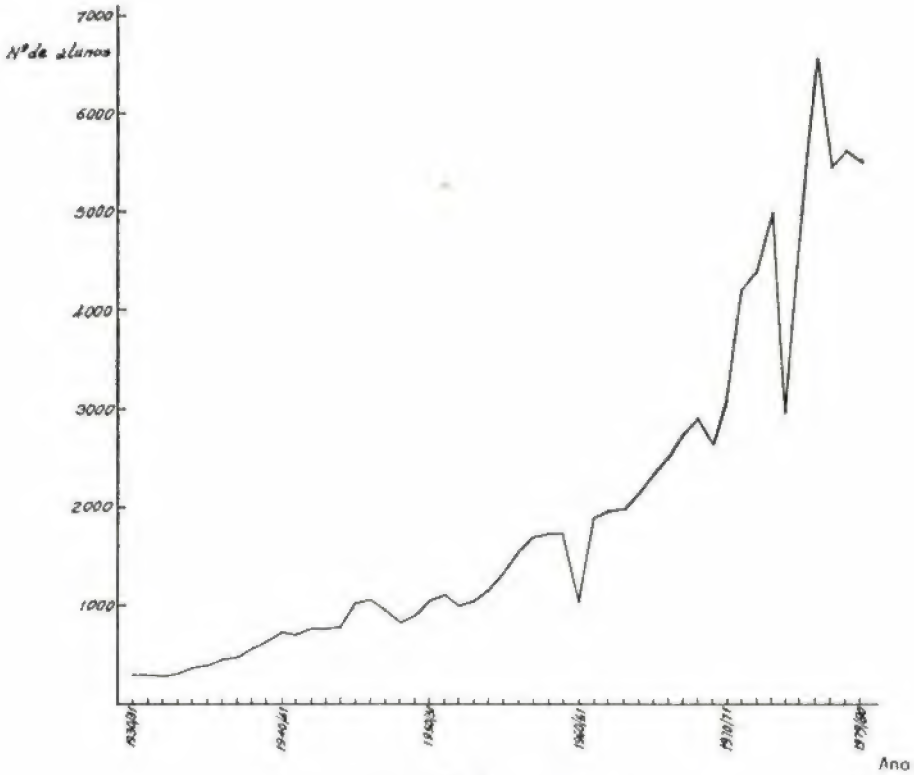


FIG. 2
Frequência do IST de 1930 a 1980
(dados fornecidos pelo SOP)

recentes orientações ou tendências em matéria de dedicação dos professores universitários às actividades da Universidade e finalmente as promissoras actividades de projecto, pesquisa e consultoria desenvolvidas em centros universitários e por vezes financiadas por entidades não universitárias, levam a crer que, em certas escolas, se criaram as condições suficientes para reconverter o ensino, completando os programas de licenciatura ou bacharelato com outros de Mestrado, especialização ou reciclagem.

Julga-se que o IST é exemplo inequívoco de tal situação pelo que se compreende que nele se tenham desenvolvido, desde 1977, diversas acções visando a clarificação de conceitos, a definição de regras e esquemas organizacionais bem como a elaboração de propostas de cursos de Mestrado que satisfaçam necessidades da sociedade portuguesa e que consigam congregar os suficientes meios científicos, humanos e materiais.

Em suma, julga-se que a criação dos cursos de mestrado é actualmente imposta pelas próprias necessidades de formação de quadros com preparação especialmente aprofundada em certos domínios e que, em certas escolas, será realista admitir que já existem as necessárias bases para empreender a sua realização pelo que se descreve o caso do IST nos parágrafos seguintes já que se supõe que exemplifica tal situação.

2 — OBJECTIVOS E CARACTERIZAÇÃO DO MESTRADO A REALIZAR NO IST

Atendendo a que por vezes tem havido alguma confusão sobre a própria definição dos cursos de Mestrado, o Conselho Científico do IST considerou importante reflectir sobre a sua natureza tendo acordado num conjunto de orientações gerais aprovadas em finais de 1979 e que se transcrevem em seguida:

2.1 — Objectivos

Os cursos de mestrado visam proporcionar o aprofundamento, a especialização e aquisição de desenvolvidas capacidades científicas e técnicas a um nível superior ao das licenciaturas existentes, conferindo o grau académico de Mestre.

— Os cursos de mestrado incluirão uma componente lectiva de matéria especializada e uma componente de introdução à investigação culminando com a apresentação e discussão de uma dissertação.

— Paralelamente, a escola poderá ministrar outras acções de formação exteriores à licenciatura tais como cursos de actualização, aperfeiçoamento e reconversão que não conferirão graus académicos.

2.2 — Características

— As características dos cursos de mestrado do IST dependerão certamente da natureza de cada domínio mas considera-se desejável garantir a observância de algumas normas comuns:

A — A sua duração não deverá ser inferior a 12 meses ou exceder 24 meses podendo ser recomendável em alguns casos organizar cursos prévios de homogeneização de conhecimentos cuja duração não excederá 1 ano.

B — É possível organizar o curso de mestrado com base em diversos esquemas actualmente existentes tais como o sistema *linear* (Grã-Bretanha) ou o sistema de *crédito* (EUA) havendo porém que garantir uma não proliferação exagerada de disciplinas e docentes com números de alunos muito reduzidos. Também neste problema, a interligação e coordenação dos diversos currícula poderá reduzir custos e duplicações.

C — O número de horas de aula do curso de mestrado propriamente dito não deverá ser inferior a cerca de 300 ou superior a 600.

D — Como regra geral, e tendo em conta o disposto em 1, é condição necessária para ser aceite como aluno destes cursos haver completado previamente uma licenciatura.

E — Os alunos dos cursos de mestrado devem estar no regime de tempo total.

F — Como regra geral, deverá procurar obter-se um conjunto de alunos que inclua docentes, investigadores e profissionais do meio exterior à Universidade.

G — A selecção dos participantes incluirá uma entrevista e terá também em conta a classificação de licenciatura bem como outras informações curriculares dos candidatos.

H — Convirá garantir uma fracção do número de vagas (30 %) para os assistentes das Universidades portuguesas que satisfaçam os requisitos de admissão, ao menos durante os próximos anos.

I — A aprovação no curso implica a aprovação em todas as provas de avaliação das disciplinas incluídas na componente lectiva bem como na dissertação apresentada.

J — O número de épocas de exame não poderá ser superior a 2 por ano exceptuando-se os casos especiais relativos a professores visitantes.

K — Os alunos que satisfaçam 50 % da componente lectiva poderão concluí-la no próximo curso e aqueles que não atinjam 50 % ficarão excluídos. A apresentação e discussão da dissertação só é possível após a aprovação na componente lectiva.

2.3 — Organização

— Um curso de mestrado é uma acção de formação extremamente exigente para a equipa que o organiza e rege, quer pelo esforço que exige na preparação de documentação e acompanhamento dos alunos, quer pelos cuidados que requer na criação de condições de estudo e trabalho laboratorial para os seus participantes.

— A colaboração de docentes de outras escolas, de investigadores de instituições de investigação científica ou de técnicos exteriores à Universidade pode ser de grande utilidade mas não é geralmente possível, ou mesmo desejável, fazer recair sobre tais colaboradores o principal esforço de coordenação e organização do curso o qual inevitavelmente deverá ser da responsabilidade da equipa de docentes do IST que propõe e assegura o seu funcionamento. Essas funções devem ser desempenhadas pelo professor coordenador e pela comissão científica e pedagógica do curso.

— A organização de cursos de actualização, aperfeiçoamento e reconversão pode também dar um apreciável contributo para a posterior organização de cursos de mestrado (contactos com a Indústria, preparação de equipas docentes, etc.). Dada a sua importância, deseja-se a existência de uma dotação orçamental para apoiar a sua realização.

Finalmente convém recordar que estes princípios surgem na sequência das sugestões deixadas por uma missão de consultores britânicos que visitou a Escola em 1978/79 e que concordam igualmente com as orientações expressas na legislação recentemente publicada sobre o assunto.

3 — CURSOS DE MESTRADO A FUNCIONAR NO IST EM 1980

Uma vez definidos os princípios orientadores apresentados anteriormente, tem sido possível implementar um processo bastante sistemático para recolha, análise, crítica e decisão sobre as diversas propostas de cursos de Mestrado a lançar proximamente.

Assim, os departamentos foram convidados a apresentar propostas as quais mereceram o exame na generalidade por parte de uma comissão do Conselho Científico após o que se escolheram neste mesmo Conselho os relatores de especialidade para cada curso sob proposta dos respectivos departamentos proponentes.

Por último, o Conselho Científico pronunciou-se sobre cada curso após recepção e análise dos pareceres referidos.

Até ao presente já foram aprovadas — por unanimidade — as propostas relativas aos cursos seguintes:

A — Transferência e Conversão de Energia.
B — Química dos Processos Catalíticos.

C — Investigação Operacional e Engenharia de Sistemas.
D — Engenharia Estrutural.
E — Mineralurgia e Planeamento Mineiro.

tendo sido igualmente dado parecer favorável sobre dois outros cursos a realizar no âmbito inter-escolas da UTL e inter-universidades de Lisboa, respectivamente sobre Planeamento Regional e Urbano e sobre Física Molecular e dos Plasmas.

O arranque dos cinco cursos aprovados está previsto para o 2.º semestre de 1980 estando presentemente o processo apenas pendente de decisão ministerial esperando-se que se complete rapidamente pois, em caso contrário, fica obviamente comprometida a data do seu início.

Procurando caracterizar globalmente os cinco cursos já aprovados, importa sublinhar que todos eles estão particularmente ligados aos problemas da indústria nacional cobrindo áreas críticas nos sectores extractivo e transformador envolvendo um total de cerca de 60 professores doutorados nacionais e de cerca de 10 especialistas estrangeiros.

Estes cursos vão envolver os meios humanos e materiais disponíveis em numerosas linhas de pesquisa integradas em centros da UTL que funcionam no IST, designadamente dos centros de Termodinâmica Aplicada e Mecânica dos Fluídos (CTAMFUL)), de Sistemas Urbanos e Regionais (CESUR), de Mecânica (CEMUL) e de Química Estrutural (CQE).

4 — CONSIDERAÇÕES FINAIS

A — De acordo com as ideias desenvolvidas em 1. é fácil concluir que a criação do Mestrado em Portugal é efectivamente exigida pelas necessidades actualmente vividas no que respeita à formação de quadros avançados as quais não podem ser satisfeitas eficientemente pela licenciatura ou pelo doutoramento pelo que importa planear e lançar os correspondentes cursos em estreita ligação com as carências e a procura real de técnicos qualificados nos diversos domínios de actividade.

B — Para evitar equívocos e fracassos importa saber distinguir claramente os cursos de Mestrado de outros, igualmente importantes mas de natureza bem distinta, que visem a especialização, a reconversão ou a actualização de conhecimentos. Deste modo, julga-se que as características apresentadas em 2. podem contribuir para esta clarificação essencial à organização de cursos conducentes ao grau de Mestre e que, pelo elevado nível dos seus professores, pelo envolvimento activo dos seus alunos em projectos de pesquisa e bem assim pelo clima de dedicação completa dos seus participantes, consigam efectivamente dar, em tempo útil, a desejada e esperada formação. Como é evidente, a definição apresentada exclui outras soluções menos exigentes tais como os chamados *cursos de fim de tarde* que infelizmente se têm vindo a generalizar em universidades de Lisboa e que pouco ou nada têm em comum com as orientações aqui definidas.

C — A criação do grau de Mestre irá, inevitavelmente, ter efeitos directos sobre os restantes graus, muito especialmente sobre a licenciatura, pelo que importa reaximinar a sua justificação já que, em certos casos, é defensável a existência simultânea destes dois graus enquanto que noutros poderá ser preferível alterar as características da própria licenciatura. A não explicitação e resolução deste problema é inconveniente pois poderá conduzir a um *deslizar* do nível da licenciatura par o do bacharelato o que seria inconveniente já que poderia degradar o nível de formação efectivamente necessário nos domínios de certas licenciaturas tendo em conta as actividades e responsabilidades profissionais que são atribuídas pela sociedade a tais licenciados e ainda porque nos casos em que se justifiquem cursos menos extensos importaria buscar esquemas e programas de ensino melhor adaptados a esses novos padrões e objectivos.

D — O lançamento dos cursos de Mestrado discutidos nesta nota implica, obviamente, pensar nos sistemas organizacionais e orgânicos mais eficientes pelo que se espera que surjam sugestões e propostas úteis sobre este tema tão recentemente animado pela publicação do chamado decreto das Escolas de Estudos Graduados a fim de que se encontrem e implementem as melhores soluções em tempo útil.

NOTA FINAL

Agradecem-se as sugestões e os comentários amavelmente feitos pelo Prof. Vasco de Brederode, presidente do Conselho Científico do IST.

Este trabalho encontra-se aberto para discussão até 31 de Janeiro de 1981.

Com a experiência do passado e a tecnologia do presente constrói

Porto de recreio Vilamoura-Portugal

OBRAS MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS
CENTRAIS TERMOELÉCTRICAS
APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS
CIMENTARIAS
SIDERURGIAS
SILOS, TORRES E CHAMINÉS
HOTEIS E EDIFICIOS
PONTES E VIADUTOS
FUNDAÇÕES E GEOTECNIA

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, S.A.R.L.

Av. 24 de Julho, n.º 24-1200 Lisboa
telef.: 675051 • telex: 16431 CT LISB
endereço telegráfico: CONTEL - Lisboa

NOTA CIENTÍFICA N.º 5

Doppler effect as a resultant of the contraction of space and the dilation of time

M. DE ABREU FARO
Instituto Superior Técnico, da U. T. L. *
Centro de Electrodinâmica, do I. N. I. C. **

SUMMARY

It is shown that the Doppler effect, in wavelength and frequency, may be obtained by the contraction of space and the dilation of time, respectively.

In the first case we use an intermediate frame where the process becomes independent of time; in the second, a frame where the process becomes independent of space.

In one of these determination, and if $V_f \neq c$, we necessarily find $\beta > 1$ and consequently $\sqrt{1-\beta^2}$ is a pure imaginary.

This paper corresponds to a communication presented in the Classe de Ciências da Academia de Ciências de Lisboa on the 17th July 1980.

SUMÁRIO

Mostra-se que os efeitos Doppler, em comprimento de onda e em frequência, podem ser obtidos por contracção do espaço e dilatação do tempo, respectivamente.

No primeiro caso usamos um referencial intermédio onde o processo se torna independente do tempo. No segundo, um referencial onde o processo se torna independente do espaço.

Numa destas determinações e se $V_f \neq c$, nós encontramos necessariamente $\beta > 1$ e consequentemente $\sqrt{1-\beta^2}$ é um imaginário puro.

Este trabalho corresponde a uma comunicação apresentada à Academia das Ciências de Lisboa em 17 de Julho de 1980.

A straightforward method to obtain the Doppler effect is to start from the phase invariance which is a consequence of the tensorial character of the fields [1], [2].

Once this invariance is postulated we may conclude that [k, ω/c] is a four-vector and the problem is solved. This is the well-known and classical way of doing it.

In this paper we prove that the Doppler effect can be interpreted as a result of the contraction of space and a result of the dilation of time.

From the first interpretation we obtain the conventional Doppler effect expressed in the wavelength, from the second this same effect expressed in the frequency. With these two results we may infer the transformation law of the phase velocity.

As we will see we are obliged to recur to a Lorentz Transformation with $\beta > 1$. We recognize the fact but we also recognize that the interpretation works quite well and therefore the Doppler effect can be obtained on the basis proposed.

The Special Lorentz Transformation associated with the frames $S^i(x_i, y_i, z_i, t_i)$ and $S^k(x_k, y_k, z_k, t_k)$ may be written

$$x_i = v_{ki}\, t_i + \sqrt{1-v_{ki}^2/c^2}\, x_k \quad y_i = y_k \quad z_i = z_k$$

$$t_i = \frac{v_{ki}}{c^2}\, x_i + \sqrt{1-v_{ki}^2/c^2}\, t_k \tag{1}$$

if we designate by v_{ki} the relative velocity S^k/S^i.

The same transformation can take the form

$$t_i = d_{ki}\, x_i + \sqrt{1-c^2 d_{ki}^2}\, t_k$$

$$x_i = c^2 d_{ki}\, t_i + \sqrt{1-c^2 d_{ki}^2}\, x_k \qquad y_i = y_k \quad z_i = z_k \tag{2}$$

if we use the concept of relative desynchronization $d_{ki} = v_{ki} / c^2$, [3].

If we consider three frames S^i, S^j and S^k, with relative velocities in the direction of $\overline{xx}$ axis, the Special Transformation forms a subgroup where

$$v_{ki} = \frac{v_{kj} + v_{ji}}{1 + v_{kj}\, v_{ji} / c^2}$$

$$d_{ki} = \frac{d_{kj} + d_{ji}}{1 + c^2 d_{kj}\, d_{ji}} \tag{3}$$

Now we can write the expression of the phase of the monochromatic plane wave $\varphi(x_1, t_1) = 2\pi(t_1 / T_1 - x_1 / \lambda_1)$ associated with the frame S^1.

Considering that $V_{f1} = \lambda_1 / T_1 = \lambda_1 f_1$ we have

$$\varphi(x_1, t_1) = \frac{2\pi}{T_1}\left(t_1 - \frac{x_1}{V_{f1}}\right) = \frac{2\pi}{\lambda_1}(V_{f1}\, t_1 - x_1) \tag{4 a}$$

From (4 a) there result the correspondences

$$x_1 \to V_{f1} \qquad t_1 \to 1 / V_{f1} \tag{4 b}$$

* U. T. L. — Universidade Técnica de Lisboa.
** I. N. I. C. — Instituto Nacional de Investigação Científica.

Original recebido para publicação em 22/7/80.

with the following meanings:

— In a frame S^2 with a relative velocity $S_{21} = V_{f1}$ we obtain a process independent of time.

— In a frame S^2 with a relative desynchronization $d_{21} = 1 / V_{f1}$ we obtain a process independent of space.

In the first situation, $v_{21} = V_{f1}$, the process is immobilized in space since it is independent of time. So we can take λ_2 as a ***proper length***.

Under the circumstances the wave lengths in S^1 and S^3 are time contractions of λ_2

$$\lambda_1 = \sqrt{1-v_{12}^2/c^2}\ \lambda_2 \qquad \lambda_3 = \sqrt{1-v_{32}^2/c^2}\ \lambda_2 \tag{5}$$

From (5) there results

$$\frac{\lambda_3}{\lambda_2} = \frac{\sqrt{1-v_{32}^2/c^2}}{\sqrt{1-v_{12}^2/c^2}} \tag{6}$$

If we assume $v_{31} = v$ and $v_{21} = -v_{12} = V_{f1}$ and considering the identity

$$\sqrt{1-v_{ki}^2/c^2} = \frac{1}{1+v_{kj}\,v_{ji}/c^2}\ \sqrt{1-v_{kj}^2/c^2}\ \sqrt{1-v_{ji}^2/c^2} \tag{7}$$

we obtain from (6)

$$\frac{\lambda_3}{\lambda_1} = \frac{1}{\sqrt{1-V_{f1}^2/c^2}}\ \frac{\sqrt{1-v^2/c^2}\ \sqrt{1-V_{f1}^2/c^2}}{1-v\,V_{f1}/c^2} =$$

$$= \frac{\sqrt{1-v^2/c^2}}{1-v\,V_{f1}/c^2} \tag{8}$$

which is exactly the well-known Doppler effect expressed in the wavelength.

In the intermediate calculations we find $\sqrt{1-V_{f1}^2/c^2}$ which disappears upon simplification.

If $V_{f1} > c$, this signifies that in the transformation $S' \rightarrow S^2$ we work with an imaginary Lorentz group.

We shall now consider the Doppler effect expressed in the frequency.

For this we use the transformation $d_{21} = d_{12} = 1/V_{f1}$

The process in the frame S^2 is independent of space and T_2 defines a synchronous time associated with the S^2 frame, ***time of the S^2 frame***.

When we measure T_1 in S^1 or T_3 in S^3 these observations are made on the same point, x_1 or x_3, so T_1 and T_3 are ***proper times***.

Considering the dilation of time we have

$$T_2 = T_2^1 = \frac{1}{\sqrt{1-c^2 d_{21}^2}}\ T_1$$

$$T_2 = T_2^3 = \frac{1}{\sqrt{1-c^2 d_{23}^2}}\ T_3 \tag{9}$$

Once the process in S^2 is space independent we have $T_2^1 = T_2^3 = T_2$

From an identity analogous to (7) we can write

$$\sqrt{1-c^2 d_{23}^2} = \frac{1}{1+c^2 d_{21}\,d_{13}}\ \sqrt{1-c^2 d_{21}^2}\ \sqrt{1-c^2 d_{13}^2} \tag{10}$$

In this way if we consider the transformations $d_{31} = -d_{13} = v/c^2$ and $d_{21} = \frac{1}{V_{f1}} = v_{21}/c^2$ we obtain

$$\frac{T_3}{T_1} = \frac{\sqrt{1-v^2/c^2}}{1-v/V_{f1}} = \frac{f_1}{f_3} \tag{11}$$

which is exactly the Doppler effect expressed in the frequency.

We must note that we work in the transformation $S^1 \rightarrow S^2$ with

$$\sqrt{1-d_{21}^2/c^2} = \sqrt{1-c^2/V_{f1}^2} \tag{12}$$

So, and once $V_{f1} < c$ we find a transformation of the imaginary Lorentz group.

Finally, if we take into account (8) and (11) we obtain

$$V_{f3} = \frac{V_{f1}-v}{1-v\,V_{f1}/c^2} \tag{13}$$

CONCLUSIONS

— We have shown that the Doppler effect may be explained and results from space contraction (λ) and from time dilation (f).

— For other purposes and with different objectives, the transformation to obtain a process independent of space is used by others **[4] [5]**.

— If we wish to obtain the Doppler effect in λ and in f and $V_{f1} \neq c$, we necessarily find one transformation where $\sqrt{1-\beta^2}$ is a pure imaginary.

When $V_{f1} > c$, this is the case of the Doppler effect in λ; when $V_{f1} < c$, this is the case of the Doppler in f.

— From the two results we obtain the law of transformation of the phase velocity.

— We have limited the analysis to a very simple situation but we believe that it is possible to generalize the results.

REFERENCES

[1] **Aharoni, J.** — *The Special Theory of Relativity*, Clarendon Press, Oxford, 1965.

[2] **Abreu Faro, M.** — *Propagação de Ondas Electromagnéticas em Meios em Movimento* — Memórias da Academia de Ciências, 1978.

[3] **Abreu Faro, M.** — *Estabelecimento e Interpretação Física da Transformação de Lorentz* — TÉCNICA n.º 438, 1977.

[4] **Romeiras, F. J.** — *Stability of Relativistic Transverse Cold Plasma Waves. Part 1 — Circularly Polarized Waves* — J. Plasma Physics 20, 479-501, 1978.

[5] **Romeiras, F. J.** — *Stability of Relativistic Transverse Cold Plasma Waves. Part 2 — Linearly Polarized Waves* — J. Plasma Physics, 22, 201-222, 1979.

Este trabalho encontra-se aberto para discussão até 31 de Janeiro de 1981.

(Continuação da pág. 95)

NOTICIÁRIO

[8] **Luís Vicente** — *Comunicação em Língua Natural com um Microcomputador (Exemplo de Aplicação a um Tema Geográfico)* — CENTRO DE INFORMÁTICA — L. N. E. C.

[9] **Luís Costa e Caires** — *Implementação dum Interpretador Lisp no Apple-II* — CENTRO DE GEOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE LISBOA.

[10] **R. A. David Gomes** — *Aplicações de um Microcomputador em Análise Espectroquímica* — JUNTA DE INVESTIGAÇÕES CIENTÍFICAS DO ULTRAMAR.

[11] **Steiger Garção** — *Arquitectura Gráfica Raster* — DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA — U. N. L.

[12] **L. M. Camarinha de Matos** — *Instalação de Sistemas de Exploração em Microsistemas* — DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA — U. N. L.

[13] **Carlos Alberto Martins; Fernando Alberto Costa Antunes; Victor Eduardo Pimenta Rodrigues** — *Estrutura de um Sistema Operativo Suportando Simultaneadade de Recolha, Tratamento e Registo de Informação* — I. S. E. L.

[14] **Fernando Alberto Costa Antunes; Carlos Alberto Martins; Victor Eduardo Pimenta Rodrigues** — *Problemas de Projecto Envolvendo Múltiplos Processos de Tempo Real* — I. S. E. L.

[15] **Victor Eduardo Pimenta Rodrigues; Carlos Alberto Martins Fernando Alberto Costa Antunes** — *Papel das Escolas de Engenharia na Reciclagem de Técnicas no Domínio dos Microprocessadores* — I. S. E. L.

[16] **Rui Marques, Altamiro Machado** — *Controlador Sequencial Programável «Micromatic 7065»* — MICROMATIC — MICROINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO.

Para os eventualmente interessados na aquisição de cópias de comunicações, contactar

Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Secção de Vendas de Publicações
Telefones 88 21 31/7
Av. do Brasil, 101
1799 LISBOA CODEX — PORTUGAL

ADVANCED STUDY INSTITUTE

ON

CATALYST DEACTIVATION

MAY 18-29
1981

HOTEL GOLFINHO, LAGOS (Algarve)
PORTUGAL

SPONSORED BY
NATO
SCIENTIFIC AFFAIRS DIVISION

Director
PROF. J. L. FIGUEIREDO
Faculty of Engineering
University of Porto
PORTUGAL

Scientific Advisors
PROF. G. F. FROMENT
(Rijksuniversiteit Gent, Belgium)

PROF. D. L. TRIMM
(University of New South Wales, Austrália)

COURSE OUTLINE

CATALYST DEACTIVATION

1. Coking

— Mechanisms of carbon formation on catalysts
— Catalyst coking: quantitative description
— Regeneration of coked catalysts
— Coking in industrial reactors

2. Poisoning

— Fundamental aspects of catalyst poisoning
— Catalyst poisoning: quantitative description
— Catalyst poisoning under industrial operating conditions

3. Solid State Transformations

— Deactivation by solid state reactions
— Sintering of supported metal catalysts
— Phase transformations in oxide catalysts and supports
— Sintering of catalysts under industrial operating conditions

APPLICATIONS should be sent to:

Prof. J. L. Figueiredo
NATO ASI «Catalyst Deactivation»
Faculdade de Engenharia
4099 Porto Codex, Portugal
Telephones: 2 74 37 or 38 28 08
Telex: 23 121 UNIPOR P

1. PURPOSE OF THE INSTITUTE

The field of catalyst deactivation is of paramount importance to both industrial and academic communities. Most catalysts used in the chemical and petrochemical industries are strongly affected by one on another form of deactivation. Well known examples are: — carbon deposition on cracking catalysts, sulphur poisoning of transition metals and sintering of supported metal catalysts.

This Institute is a high-level teaching activity dealing with the scientific aspects of catalyst deactivation by coking, poisoning and solid state transformations. For each of thest topics, the presentation will cover the fundamental aspects as well as their practical consequences.

The subject is of interdisciplinary nature, involving surface chemistry, materials science and chemical reactios engineering aspects.

Therefore the course is intended both for chemists as well as for chemical engineers.

2. STAFF OF THE INSTITUTE

The following lecturers hove been invited to participate:

J. B. Butt, Northwestern University, USA
B. Delmon, Université Catholique de Louvain, BELGIUM
D. A. Dowden, ENGLAND
J. L. Figueiredo, University of Porto, PORTUGAL
J. P. Franck, Institut Français du Pétrole, FRANCE
G. F. Froment, Rijksuniversiteit Gent, BELGIUM
L. L. Hegedus, W. R. Grace & Co., USA
J. Rostrup-Nielsen, Haldor Topsoe, DENMARK
D. L. Trimm, University of New South Wales, AUSTRALIA
S. Wanke, University of Alberta, CANADA
V. W. Weekman, Jr, Mobil, USA.

3. PROGRAMME OF THE INSTITUTE

The working language of the Institute will be English, and the attendants are expected to show proficiency in this language. The working day will be split approximately half between lectures and seminars, leaving the evening free for informal discussions.

A limited number of original rescarch papers from participants may also be presented.

4. PARTICIPANTS

Scientists and engineers in industry, government establishments and universities who are engaged or actively interested in work on catalysis and reaction engineering are invited to apply for participation. The minimum educational level is a Dipl--Ing. or a M. Sc. degree. Attendance will be limited to about 80 people. Those interested in participating are invited to send in the enclosed application form as early as possible, but before 28 February 1981. Successful applicants will be notified by March 31st.

5. HOUSING

The Institute will be held at Hotel Golfinho, in-Lagos (Algarve), where the participants will be accomodated. The hotel stands in front of the beach of D. Ana, Lagos, on the south coast of Portugal. Directions on how to reach the hotel will be sent to successful applicants.

6. FEES AND STIPENDS

A combined fee of US $500 will be charged to each participant. This covers accomodation (sharing double bedrooms), meals and lecture notes. A deposit of US $50 will be requested from successful applicants on confirmation of their enrolment. This becomes non-refundable in the event of late concellation by the participants.

A limited number of stipends to cover accomodation fees will be available to applicants from NATO countries, as well as some partial support towards travelling expenses. The financial needs should be indicated on the application form.

7. PUBLICATION

The edited version of this course will be published in the NATO A. S. I. Series, by Sijthoff & Noordhoff International Publishers, b. v.

—— // ——

50e SALON INTERNATIONAL DE L'ÉQUIPEMENT DOMESTIQUE «ARTS MÉNAGERS»

C. N. I. L. — Paris — La Défense.
7-10/3/1981.

NOTA CIENTÍFICA N.º 6

Limitations on Doppler effect in an isotropic collisionless plasma

M. J. DE ABREU FARO
M. JOÃO MARQUES MARTINS
Instituto Superior Técnico (U. T. L.)*
Centro de Electrodinâmica (I. N. I. C.)*

SUMMARY

It is well known that the dispersion relation of an isotropic collisionless plasma is an invariant under a Lorentz transformation.

This being the case, if one is above the cutoff frequency in the rest frame, the same thing must happen in any other inertial frame.

The shifts in frequency by Doppler effect are then limited. There is a critical value for the relative velocity of the two media above which the situation is reversed and the frequency tends to increase and even to be higher than the source's frequency; this new situation must, however, be clarified.

SUMÁRIO

Uma vez que a equação de dispersão de um plasma sem colisões é formalmente invariante sob uma transformação de Lorentz, é natural esperar que, estando-se acima da frequência de corte no referencial de repouso, isso aconteça também em qualquer outro referencial de inércia.

Assim, as variações de frequência por efeito Doppler estão limitadas.

Existe um valor da velocidade relativa v_c, a partir da qual o processo se inverte e a frequência começa a aumentar, podendo ser superior à da fonte; todavia, esta situação deve ser devidamente interpretada.

— The dispersion equation of an isotropic collisionless plasma is covariant with a Lorentz transformation:

$$\frac{\omega^2}{c^2} - \mathbf{k}^2 = \frac{\overline{\omega}^2}{c^2} - \overline{\mathbf{k}}^2 = \frac{\omega_p^2}{c^2} \qquad (1)$$

— As a consequence, the group and phase velocity remain parallel under a Lorentz transformation and we always find the relation $V_f V_g = c^2$, **[1]**.

— Moreover, [**k**, ω/c] is a four vector

Original recebido para publicação em 11/11/80.
* Universidade Técnica de Lisboa.
* Instituto Nacional de Investigação Científica.

From the three statements we can draw the following conclusions:

Once that [**k**, ω/c] is a four vector then, if **k** and ω are real quantities, $\overline{\mathbf{k}}$ and $\overline{\omega}$ must be real quantities as well.

That is, if a wave can propagate in frame $S(x^i)$, we also must observe propagation in $\overline{S}\,(\overline{x}^i)$.

The propagation conditions in $S(x^i)$ are $\omega > \omega_p$ so in $\overline{S}\,(\overline{x}^i)$ we must have $\overline{\omega} > \overline{\omega}_p$ or at least $\overline{\omega} \geqslant \overline{\omega}_p$.

Considering that

— the plasma frequency $\omega_p = \sqrt{\dfrac{N_e\, e^2}{\varepsilon_o\, m_e}}$ is a relativistic invariant, $\omega_p = \overline{\omega}_p$,

— the group velocity of any signal transforms like the velocity of a particle,

if we designate by v the relative velocity of $\overline{S}/S$, directed along $\overline{xx}$ axis, we can conclude that when $V_g = v$, $\overline{V}_g = 0$.

For values of v greater than V_g, $\overline{V}_g$ is reversed and therefore $\overline{V}_f$ and $\overline{k}_x$ are reversed too **[1]**.

This means that in $\overline{S}\,(\overline{x}^i)$ there is a wave propagating along the negative $\overline{xx}$ axis.

Under the circumstances the frequency of the observed wave must increase with v.

We can now prove in an analytical way these physical conclusions.

According to the Lorentz transformations of [**k**, ω/c]:

$$\overline{k}_x = \gamma\left[k_x - \beta\,\frac{\omega}{c}\right] \quad \overline{k}_y = \overline{k}_y \quad \overline{k}_z = k_z \qquad (2a)$$

$$\frac{\overline{\omega}}{c} = \gamma\left[\frac{\omega}{c} - \beta\, k_x\right] \qquad (2b)$$

For a wave propagating along the $\overline{xx}$ axis, $k_x > 0$. According to (1)

$$k_x = \frac{\omega}{c}\sqrt{1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}} \qquad (3)$$

Inserting (3) into (2) we obtain

$$\overline{k}_x = \gamma\left[1 - \beta\Big/\sqrt{1 - \frac{1}{m^2}}\,\right]k_x \qquad (4a)$$

$$\frac{\overline{\omega}}{c} = \gamma\left[1 - \beta\sqrt{1 - \frac{1}{m^2}}\,\right]\frac{\omega}{c} \qquad (4b)$$

where $m = \omega/\omega_p$.

From (4b) it follows that

$$\overline{m} = \frac{m - \beta \sqrt{m^2 - 1}}{\sqrt{1 - \beta^2}} \qquad (5)$$

where $\overline{m} = \overline{\omega}/\overline{\omega}_p$.

According to our previous statement, for $m = (\omega/\omega_p) > 1$ one must have $\overline{m} = (\overline{\omega}/\omega_p) \geqslant 1$.

As it can be easily verified, for any given value of m. $\overline{m}$ presents a minimum ($\overline{m} = 1$) for $\beta_c = \sqrt{1 - 1/m^2}$.

For this minimum $\overline{k}_x = 0$, (see eq. 4a), $\overline{V}_g = 0$ and $\overline{V}_f = \infty$.

For values of v higher than the critical value ($v = V_g$), $\overline{k}_x$ reverses and the observer sees a wave propagating along the negative $\overline{x}x$ axis. This leads to a shift in frequency towards blue.

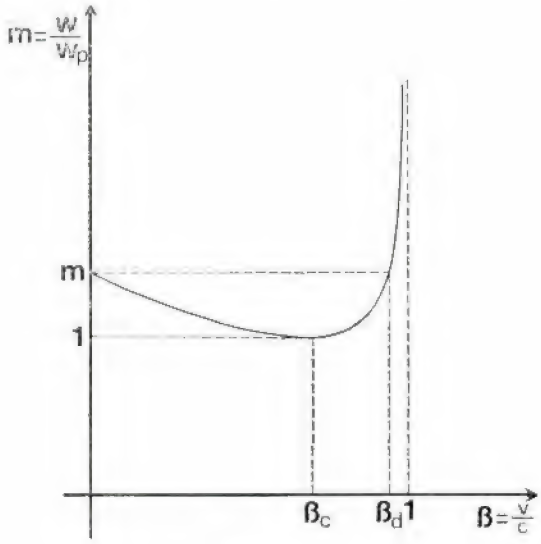


FIG. 1

As we can observe, we alway have $\overline{\omega} > \omega_p$. For $\beta = \beta_c$ there is a minimum $\overline{\omega}_{min} = \omega_p$. For $\beta > \beta_c$, $\overline{\omega}$ increases with β, a case which is clarified in the text. In the figure m = 1,4

In fact, as it can be clearly seen from Fig. 1, the frequency of the observed wave increases above ω_p and for a certain value of the relative velocity $v = \beta_d c$, where $\beta_d = 2\beta_c / (\beta_c^2 + 1)$, the frequency becomes higher than the source frequency itself.

However, for $v > \beta_c c$ an observer in frame $\overline{S}$ can no longer receive any signals emitted by a source in $S(x^i)$ if we exclude the forerunners in the sense of Sommerfeld and Brillouin.

Conclusion:

As we have shown, the Doppler effect in an isotropic plasma is limited.

If the source recedes from the observer the red shift is confined to ω_p. Afterwards, we can observe a kind of blue shift, but this situation is not realistic for ever, since the groups of waves (signals) travel with the V_g associated with the ω frequency. But if an observer finds for a while the tail of a wave, then and during this time a blue shift is seen and the order of the S signals when observed in $\overline{S}$ is reversed.

Under the circumstances the observer in $\overline{S}$ feels quite a normal blue shift because the direction of propagation is reversed **[2]**.

REFERENCES

[1] **M. Abreu Faro** and **Maria João Marques Martins**, *Media where the coincidence of the directions of phase and group velocity remain under a Lorentz Transformation*, «Técnica», 459, Junho 1980.

[2] **Noder Engheta, A. R. Mickelson** and **C. M. Papas**, *On the Near-Zone Inverse Doppler Effect*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-28, N.º 4, July 1980.

Este trabalho encontra-se aberto para discussão até 31 de Janeiro de 1981.

Resumo dos Artigos publicados na «Técnica» n.º 461

Ano LV — Novembro 1980

F. R. DIAS AGUDO — *A matemática na formação de cientistas e engenheiros*, «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 57-60.

JOSÉ CARLOS DE O. S. HORTA — *As crostas calcárias e a construção de pavimentos de estradas na África do Norte (segunda parte)*, «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 61-72.

Propõe-se uma definição geotécnica dos *tufos de pavimentação*. São seixos mais ou menos friáveis com finos muito carbonatosos (mais de 70 % de carbonetos na porção que passa através do peneiro de 0,4 mm), que se compactam humidificados, depois de uma certa elaboração geralmente sumária, nas bases e sub-bases das zonas mediterrânicas sub-húmida e semi-árida. Não se deveria falar de tufos de pavimentação na zona climática húmida.

Propõe-se também uma classificação dos tufos de pavimentação, recorda-se as regras de construção dos pavimentos em tufo e descrevem-se algumas observações sobre o comportamento destes. O fenómeno de endurecimento ou auto-estabilização destes materiais parece ligado às cristalizações de calcite como consequência da evaporação da água de compactação.

Por outro lado, quando se encaram as crostas calcárias na qualidade de solos de fundação de estradas, surge a necessidade de completar as classificações usuais de solos de estradas. No caso da classificação unificada USCS, a proporção de carbonetos da porção que passa através do peneiro de 0,4 mm deve intervir na definição dos solos encrostados, uma nova classe de solos de estradas. Os seixos cuja proporção de carbonetos ultrapassar 60 % na porção inferior ao peneiro de 0,4 mm serão *seixos de encrostamento, GE* e as areias que tiverem um teor de carbonetos superior a 40 % serão *areias de encrostamento, SE*.

J. A. SCHWARZ DA SILVA — *Teledistribuição por cabo*, «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 73-80.

Este artigo trata das redes de teledistribuição por cabo nos seus aspectos técnicos e no que diz respeito a perspectivas futuras. A um breve panorama da teledistribuição no mundo, segue-se uma exposição das transformações técnicas em curso que irão contribuir para um desenvolvimento acelerado neste campo. São examinadas algumas redes experimentais, e faz-se uma classificação quanto ao tipo de serviços que estas redes vão oferecer. São por fim tratados os serviços que parecem estar em vias de aceitação.

LEOPOLDO J. M. GUIMARÃES — *A conversão directa de energia solar em energia eléctrica. Células solares*, «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 81-84.

A escassez de recursos energéticos clássicos obriga a encontrar soluções que necessariamente incluem a energia solar nas suas múltipals formas de aproveitamento. Um dos processos de aproveitar a energia solar consiste em convertê-la directamente em energia eléctrica através das chamadas células fotovoltaicas ou células solares para as quais se dirige o conteúdo deste artigo.

M. FÁTIMA MORGADO e JOÃO DE DEUS S. PINHEIRO — *Clusius e Dickel — Um método de separação menos convencional*, «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 85-88.

A coluna gravitacional tem sido estudada do ponto de vista teórico e quanto ao seu campo de aplicação em pequena e larga escala. Da discussão teórica do processo e dos resultados experimentais publicados pode concluir-se que a coluna termogravitacional tem um poder de separação virtualmente *universal*. Pelo estudo de casos concretos de aplicação conclui-se pêlo grande interesse do processo em escala laboratorial e preparativa semi-industrial, para produtos cujo grau de pureza implica preços elevados ou em que os pocessos convencionais se mostram inadequados.

CARLOS GUEDES SOARES — *Métodos rígido-plásticos de análise de estruturas actuadas por solicitações dinâmicas intensas*, «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 89-95.

Os métodos rígido-plásticos baseiam-se em desprezar as deformações elásticas dos materiais, considerando que estes se mantêm rígidos até se atingir a tensão de cedência. Estes métodos tornam-se assim tanto mais realistas quanto maiores forem as deformações plásticas relativamente às elásticas, o que acontece em muitas situações que estão associadas a fenómenos sísmicos, colisões de veículos e explosões.

Apresenta-se uma revisão dos desenvolvimentos iniciais destes métodos considerando-se estruturas simples do tipo de vigas, placas e cascas actuadas por solicitações dinâmicas intensas.

Synopsis of articles published in «Técnica» n.º 461

LV — November 1980

LEOPOLDO J. M. GUIMARÃES — *Solar cells. Direct conversion of solar energy*, «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 81-84.

Solar energy represents one possible solution to find altenative energy sources necessary to replace non-renewable energy supplies. There are several ways to make sunlight useful for energy applications. One way consist of converting it directly into electricity using photovoltaic devices. This is the main subject of this paper.

M. FÁTIMA MORGADO e JOÃO DE DEUS S. PINHEIRO — *Clusius and Dickel — A new separation method*, «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 85-88.

The thermogravitacional column has been studied by a theoretical point of vue and by the point of view of its application field in small and large scale. Both from the theoretical discussion of the process and the experimental results that have been published one can conclude that the thermogravitacional column has a virtually *universal* separation power. By the discussion of concrete application cases we think one can conclude by the great interest of the process not only in laboratorial scale but also in preparative semi-industrial scale whose degree of purity implies high prices or for which conventional processes appear to be inadequate.

CARLOS GUEDES SOARES—*Rigid-plastic methods for the analysis of structures subjected to very strong dynamics excitation*, «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 89-95.

Elastic deformation is neglected by rigid-plastic methods which assume that materiais stay rigid up to the yield stress.

The greater the plastic deformations, relative to elastic deformation, the more realistic these methods become, this being true for many situations related to seismic phenomena, vehicles crash problems and explosions.

A survey of the initial developments of these methods is presented for the cases of simple structures with beams, plates and shells subjected to very strong dynamic excitation.

F. R. DIAS AGUDO — *Mathematics for scientists and engineers*, «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 57-60.

JOSÉ CARLOS DE O. S. HORTA — *Calcareous crusts (caliches or calcretes) and road pavement construction in North Africa (part two)*, «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 61-72.

A geotechnical definition of the *pavement tufa* is proposed. These are more or less friable gravels containing highly carbonated fines (more than 70 % carbonates in the passing through the 0,4 mm sieve), compacted with water after a generally brief elaboration in the pavement courses of the subhumid and semi-arid mediterranean zones. In the humid climate zone it is not desirable to talk about pavement tufa. A classification of the pavement tufa is also proposed. The rules for the construction of tufa courses are remembered and certain observations on their performances are described. The phenomenon of hardening or selfstabilization of these materials seems to be related to the cristalizations of calcite following the evaporation of the compacting water.

From another viewpoint, when the calcareous crusts (caliches of calcretes) are considered as road foundation soils, it is necessary to generalize and complete the usual road soils classifications. In the case of the USCS classification, the carbonate content of the passing through the 0,4 mm sieve has to be introduced in the definition of the encrusted soils, a new class of road soils. Gravels having a carbonate content superior to 60 % in the fraction passing through the 0,4 mm sieve are defined as *calcrete gravels, GE* and sands containing more than 40 % carbonates in this fraction are deined as *calcrete sands, SE*.

J. A. SCHWARZ DA SILVA — *Cable teledistribution*, «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 73-80.

Cable teledistribution networks is the subject of this paper, both in which concerns technical aspects and trends and future perspectives. A view of cable networks in the worll is taken, followed by an aprisal of technical evolutions related with cable networks. Some experimental networks are described and an application-type classification tried.

Applications which are considered with increasing acceptance are also treated.

Resumo dos Artigos publicados na «Técnica» n º 461

Ano LV — Novembro 1980

ANTÓNIO BROTAS e J. CARLOS FERNANDES — *A lei de Hooke relativista*, «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 97-100.

São deduzidas as fórmulas da elasticidade relativista dos corpos não rígidos que generalizam as fórmulas da elasticidade dos corpos rígidos, devidas a McCrea, apresentadas num número anterior da TÉCNICA (n.º 449).

É sugerida a utilização destas fórmulas no estudo do colapso gravitacional e estabelecida a equação do equilíbrio gravítico de uma esfera de um líquido *rígido*.

M. ABREU FARO — *O efeito Doppler como resultante da contracção do espaço e dilatação do tempo*, «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 107-109.

Mostra-se que os efeitos Doppler, em comprimento de onda e em frequência, podem ser obtidos por contracção do espaço e dilatação do tempo, respectivamente.

No primeiro caso usamos um referencial intermédio onde o processo se torna independente do tempo. No segundo, um referencial onde o processo se torna independente do espaço.

Numa destas determinações e se $V_f \neq c$, nós encontramos necessariamente $\beta > 1$ e consequentmente $\sqrt{1-\beta^2}$ é um imaginário puro.

Este trabalho corresponde a uma comunicação apresentada à Academia das Ciências de Lisboa em 17 de Julho de 1980.

L. VALADARES TAVARES — *Formação de quadros e cursos de mestrado no I. S. T.*, «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 101-105.

Neste trabalho discute-se a necessidade de introduzir o Mestrado no sistema universitário nacional tendo em conta a evolução da Universidade Portuguesa durante as últimas décadas e as actuais necessidades de quadros avançados em certos domínios da Ciência e da Tecnologia.

Depois de apresentar alguns contributos visando a clarificação do conteúdo dos cursos de Mestrado, descrevem-se as propostas já aprovadas no IST e, por último, referem-se algumas implicações e questões em aberto suscitadas pelo novo grau.

M. ABREU FARO e M. JOÃO MARQUES MARTINS — *Limitação do efeito Doppler num plasma isotrópico sem colisões*, «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 111-112.

Uma vez que a equação de dispersão de um plasma sem colisões é formalmente invariante sob uma transformação de Lorentz, é natural esperar que, estando-se acima da frequência de corte no referencial de repouso, isso aconteça também em qualquer outro referencial de inércia.

Assim, as variações de frequência por efeito Doppler estão limitadas.

Existe um valor da velocidade relativa v_c, a partir da qual o processo se inverte e a frequência começa a aumentar, podendo ser superior à da fonte; todavia, esta situação deve ser devidamente interpretada.

Synopsis of articles published in «Técnica» n.º 461

LV – November 1980

M. ABREU FARO — *Doppler effect as a resultant of the contaction of space and the dilation of time,* «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 107-109.

It is shown that Doppler effect, in wavelength and frequency, may be obtained by the contraction of space and the dilation of time, respectively.

In the first case we use an intermediate frame where the process becomes independent of time; in the second, a frame where the process becomes independent of space.

In one of these determination, and if $V_f \neq c$, we necessarily ind $\beta > 1$ and consequently $\sqrt{1-\beta^2}$ is a pure imaginary.

This paper corresponds to a communication presented in the Classe de Ciências da Academia de Ciências de Lisboa on the 17th July 1980.

ANTÓNIO BROTAS e J. CARLOS FERNANDES — *Relativistic Hooke's law,* «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 97-100.

The formulas of relativistic elasticity of non rigid bodies are deduced. These formulas generalize the rigid body elasticity formulas, due to Mc Crea, presented in the number 449 of TÉCNICA.

The utilization of these formulas in the study of gravitacional collapse is suggested and the gravitic equilibrium equation of a *rigid* liquid sphere is established.

M. ABREU FARO e M. JOÃO MARQUES MARTINS — *Limitations on Doppler effect in an isotropic collisionless plasma,* «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 111-112.

It is well known that the dispersion relation of an isotropic collisionless plasma is an invariant under a Lorentz transformation.

This being the case ,if one is above the cutoff frequency in the rest frame, the same thing must happen in any other inertial frame.

The shifts in frequency by Doppler effect are then limited. There is a critical value for the relative velocity of the two media above which the situation is reversed and the frequency tends to increase and even to be higher than the source's frequency; this new situation must, however, be clarified.

L. VALADARES TAVARES — *The master degree at Instituto Superior Técnico,* «Técnica», Lisboa, LV (461), Novembro 1980, p. 101-105.

The Master degree is discussed in terms of present needs for higly qualified staff in Portugal and the basic guidelines defined by IST for the new Master's courses are described in this paper. Finally, effects and debatable questions realted to these new courses are also presented herein.

Edições da Técnica

TABELA DE PREÇOS

TABELAS PARA O CÁLCULO DO BETÃO ARMADO

Brazão Farinha, 6.ª edição — 1970 . . . . 650$00

TOPOGRAFIA GERAL

C. Xerez — 1.º vol. 3.ª edição — 1978 . . 485$00
C. Xerez — 2.º vol. 2.ª edição — 1966 . . (*)

TABELAS TÉCNICAS

Vicente Ferreira e Brazão Farinha, 8.ª edição — 1977 750$00

MANUAL DE HIDRÁULICA GERAL

A. Lencastre, 2.ª edição — 1969 . . . . . 650$00

NÚMEROS E VARIÁVEIS COMPLEXAS

A. H. Simões de Abreu, 1.ª edição — 1977 . 420$00

GUIA DE ANÁLISE QUÍMICA DAS ÁGUAS

A. Herculano de Carvalho, 1.ª edição — 1961 220$00

CÁLCULO DE PÓRTICOS

G. Kani — Trad. da 7.ª edição alemã — 1962 200$00

MANUAL DE ESTRUTURAS

Brazão Farinha — 1.º vol. 1.ª edição — 1976 780$00

2.º e 3.º Volumes . . . . . (*)

BETÃO PREESFORÇADO

(A cargo dos participantes na Semana de Betão Preesforçado — I. S. T. — 1975) . . 580$00

HIDRÁULICA GERAL

1 — Fundamentos teóricos, 1.ª ed. — 1979 675$00

2 — Escoamentos Líquidos . . . . . 675$00

A. Manzanares

PROPAGAÇÃO E RADIAÇÃO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

1 — Ondas e Meios Materiais, 1.ª ed. - 1979 580$00

2 — Radiação 1.ª ed. - 1980 . . . . . 580$00

3 — Propagação Guiada, 1.ª ed. — 1981 . (*)

M. de Abreu Faro

Monografia n.º 1

CAUDAL PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS HIDRÁULICAS E AMORTECIMENTO DE CHEIAS EM ALBUFEIRAS

António Carvalho Quintela e António Betâmio de Almeida, 1.ª edição — 1975 . . . 10$00

Monografia n.º 2

ESCOAMENTO COM SUPERFÍCIE LIVRE EM CANAIS DE SECÇÃO CIRCULAR

António Betâmio de Almeida, 1.ª ed. — 1978 30$00

(*) LIVROS A PUBLICAR BREVEMENTE

Desconto de 10% aos assinantes

PEDIDOS À **técnica**

sorubal and the Apple.

Edison had over 1,800 patents in his name, but you can be just as inventive with an Apple.

Apple is the company with the brightest ideas in hardware and software *and* the best support — so you can be as creative with a personal computer system as Edison was with the incandescent bulb.

How Apple grows with you.

With Apple's reliable product family, the possibilities of creating your own system are endless. Have expansion capabilities of 4 or 8 accessory slots with your choice of system.

Expand memory to 64K bytes or 128K bytes. Add an A to D conversion board. Plug into time sharing, news and electronic mail services. Use an IEEE 488 bus to monitor lab instruments. Add 4 or 6 disk drives — the 5¼", 143K bytes, high-speed, low-cost drive that's the most popular on the market.

Apple speaks many languages.

Since more than 100 companies create software for Apple, you'll have the most extensive library in the personal computer world. Want to write your own programs? Apple is fluent in BASIC, Pascal, FORTRAN, PILOT and 6502 assembly language.

There's even a series of utility programs called the DOS Tool Kit that not only lets you design high-resolution graphic displays, but lets you work wonders with creative animation.

More illuminating experiences in store.

You won't want to miss all the Apple products being introduced at your computer store all the time. Don't let history pass you by.

Visit our sole distributor in Portugal
SORUBAL, S.A.R.L.
Rua Gen. Pimenta de Castro, 15-8.º 1700 LISBOA
Rua Teixeira de Pascoais, 1-B 1700 LISBOA
or call 89 65 55 (Lisbon)
telex 12775 SORBAL P

apple computer inc.